

«Инновационные, информационные и коммуникационные технологии»
Сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции, 2024

**ИННОВАЦИОННЫЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ И
КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Сборник трудов
XXI Международной научно-практической конференции**



1 – 10 октября 2024 года
Россия, г. Сочи

УДК 681.3 + 681.5
И 66

И 66 Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции. / под.ред. С.У.Увайсова – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2024, 420 с.

ISSN 2500-1248

Представлены материалы международной научно-практической конференции. Сборник отражает современное состояние инноватики в образовании, науке, промышленности, социально-экономической сфере и медицине с позиций внедрения новейших информационных и коммуникационных технологий.

Представляет интерес для широкого круга специалистов в области современных информационных и коммуникационных технологий, научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, связанных с инновационной деятельностью.

Редакционная коллегия:

Авдеюк О.А., Башкиров А.В., Битюков В.К., Витязев В.В., Голованова Н.Б., Дементьев А.Н., Долматов А.В., Иванов И.А. (отв. ред.), Кечиев Л.Н., Климов К.Н., Крук Е.А., Кофанов Ю.Н., Кравец А.Г., Кудж С.А., Ловцов Д.А., Мещеряков Р.В., Муромцев Д.Ю., Пожидаев Е.Д., Рагуткин А.В., Роберт И.В., Сигов А.С., Тимошенко А.В., Халютин С.П., Харьков В.П., Черемисина Е.Н., Чернова Н.И., Шелупанов А.А., Увайсов С.У. (гл. ред.), Юрков Н.К.

ISSN 2500-1248

© Оргкомитет конференции ИНФО-2024

МЕРОПРИЯТИЯ КОНФЕРЕНЦИИ



Фундаментальные проблемы инноватики

Рассматриваются результаты фундаментальных исследований в различных областях научной и практической деятельности.



Современные технологии в информационном обществе

Посвящена применению информационных и коммуникационных технологий в образовании и социально-экономической сфере. Рассматриваются вопросы: управления образовательным процессом в высшем, среднем и начальном образовании; дистанционного обучения; применения ИКТ для повышения качества преподавания; применения ИКТ для управления, регулирования и повышения качества социальных и бизнес-процессов; и другие.



Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования в науке, технике и технологиях

Рассматриваются вопросы использования современных ИКТ при проведении научных исследований и разработке новых видов техники и технологий в промышленности.



Антенны, СВЧ техника, технологии и производство радиоэлектронных систем

Рассматриваются вопросы электромагнитной совместимости, излучения, приема и распространения электромагнитных волн, управления полями с помощью различных физических явлений, численного электродинамического моделирования, исследования, разработки и создания антенн, СВЧ-устройств, материалов и компонентов проектирования спецоборудования для радионавигации, радиолокации, телевидения, радиоастрономии, радиоуправления, радиоэлектронной борьбы и телекоммуникаций.



Международный семинар по проектированию и технологиям производства электронных средств (SED-2024)

Основные направления семинара:

1. Автоматизация проектирования и производства электронных средств: CAD; CAE; CAM.
2. Электронная промышленность: Полупроводниковые и высокоскоростные устройства; Оптоэлектроника; Фотоника; СВЧ-устройства; Терагерцовые устройства; Датчики, МЭМС; Устройства Интернет вещей; Электромагнитная совместимость
3. Обеспечение качества электронных средств: Управление качеством; Контроль и диагностирование; Контролепригодность; Надежность; Испытания.

Контакты оргкомитета:

E-mail: conf@diag.ru

Web: www.diag.ru

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

Сигов А.С., доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН,
президент РТУ МИРЭА

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели

Кудж С.А., доктор технических наук, профессор, ректор РТУ МИРЭА

Гайдамашко И.В., доктор психологических наук, академик РАО, ректор СГУ

Абрамов О.В., д.т.н., проф.	Владивосток, зав. отд. РАН Дальневосточное отд. ИАПУ
Айгистов А.А.	Москва, президент общенационального союза НКО
Витязев В.В., д.т.н., проф.	Рязань, зав. каф., РГРТУ
Вишневский В.М., д.т.н., проф.	Москва, ИПУ РАН им. В. А. Трапезникова
Голованова Н.Б., д.э.н., проф.	Москва, заместитель первого проректора РТУ МИРЭА
Горбунов А.П., д.э.н., проф.	Пятигорск, ректор ПГУ
Горшков П.С., д.т.н., доц.	Москва, генеральный директор ООО «НПО НаукаСофт»
Гузейн-заде Н.Г., д.ф.-м.н., проф.	Москва, заведующий отделом, ИОФ РАН
Дементьев А.Н., д.т.н., доц.	Москва, директор ИРИ, РТУ МИРЭА
Зольников В.К., д.т.н., проф.	Воронеж, дир. института, ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова
Исмагилов Ф.Р., д.т.н., проф.	Уфа, зав. каф., УГАТУ
Каперко А.Ф., д.т.н., проф.	Москва, НИУ ВШЭ
Карпенко А.П., д.ф.-м.н., проф.	Москва, зав. каф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Кофанов Ю.Н., д.т.н., проф.	Москва, НИУ ВШЭ
Крук Е.А., д.т.н., проф.	Москва, науч. рук., директор МИЭМ НИУ ВШЭ
Куликов Г.В., д.т.н., проф.	Москва, РТУ МИРЭА
Львов Б.Г., д.т.н., проф.	Москва, рук. департамента, НИУ ВШЭ
Мещеряков Р.В., д.т.н., проф.	Москва, ИПУ РАН им. В. А. Трапезникова
Муромцев Д.Ю., д.т.н., проф.	Тамбов, проректор по научной работе ТГТУ
Переляев С.Е., д.т.н., д.ф.-м.н., проф.	Москва, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского
Пожидаев Е.Д., д.т.н., проф.	Москва, Научный руководитель лаборатории, НИУ ВШЭ
Рагуткин А.В., д.т.н.	Москва, советник ректора РТУ МИРЭА
Ревнивых А.В., к.т.н., доц.	Сочи, проректор по научной, инновационной деятельности и цифровизации СГУ
Роберт И.В., д.пед.н., проф., академик РАО	Москва, ФГБНУ «Институт стратегии развития образования»
Романенко Ю.А., д.т.н., проф.	Серпухов, с.н.с. ВА РВСН
Тимошенко А.В., д.т.н., проф.	Москва, проректор по учебной работе РТУ МИРЭА
Тихомиров Н.П., д.э.н., проф.	Москва, зав. каф., РЭУ им. Г.В. Плеханова
Толстюк В.В.	Москва, Пост. пред. РД при Президенте РФ
Черемисина Е.Н., д.т.н., проф.	Дубна, директор Института системного анализа и управления университета «Дубна»
Шелупанов А.А., д.т.н., проф.	Томск, президент ТУСУР

Юсуфов Ш.А., к.т.н., доц.	Махачкала, проректор по научной и инновационной деятельности ДГТУ
---------------------------	---

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели

Увайсов С.У., доктор технических наук, профессор, зав. каф., РТУ МИРЭА
Халютин С.П., доктор технических наук, профессор, научный руководитель ООО «НПО НаукаСофт»
Юрков Н.К., доктор технических наук, профессор, зав. каф., ПГУ

Ученые секретари конференции

Иванов И.А., кандидат технических наук, доцент, НИУ ВШЭ
Долматов А.В., кандидат технических наук, доцент, РТУ МИРЭА

Авдеюк О.А., к.т.н., доц.	Волгоград, декан ФЭВТ ВолгГТУ
Адамова А.А., к.т.н., доц.	Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана
Битюков В.К., д.т.н., проф.	Москва, РТУ МИРЭА
Булах Д.А., к.т.н., доц.	Зеленоград, НИУ МИЭТ
Бушмелева К.И., д.т.н., проф.	Сургут, зав. каф., СурГУ
Волков А.Н., к.т.н., доц.	Сочи, декан ФИИЦТ, СГУ
Воробьев Г.А., д.ф.н., доц.	Пятигорск, директор института, ПГУ
Воробей Е.К., д.э.н., проф.	Сочи, нач. управления СГУ
Гаджиев Х.М., к.т.н., доц.	Махачкала, зав. каф., ДГТУ
Ганин А.А.	Москва, исп. директор общенационального союза НКО
Гасанбекова З.А., к.м.н.	Махачкала, медицинский центр «Ваш доктор»
Гродзенский С.Я., д.т.н., проф.	Москва, РТУ МИРЭА
Давидов А.О., д.т.н., с.н.с.	Москва, начальник НИО, ООО "НПО НаукаСофт"
Замуруев С.Н., д.т.н., доц.	Москва, зав. каф., РТУ МИРЭА
Ирзаев Г.Х., к.т.н., доц.	Махачкала, декан, ДГТУ
Исаева З.У., к.м.н.	Махачкала, дир. медицинского центра «Ваш доктор»
Касимов А.О., к.т.н., доц.	Алматы, АУЭС
Климов К.Н., д.т.н., проф.	Москва, Московский авиационный институт
Крейдер О.А. к.т.н.	Дубна, проректор по учебной работе государственного университета «Дубна»
Коковин В.А., к.т.н., доц.	Дубна, Институт системного анализа и управления государственного университета «Дубна»
Когельман Л.Г., к.т.н., доц.	Пенза, нач. отдела, ПензГТУ
Костин М.С., д.т.н., доц.	Москва, зав. каф., РТУ МИРЭА
Косякин Ю.В., к.т.н., доц.	Тула, ТулГУ; г.Жуков, директор ЧУ СОТ ЦДО
Кравец А.Г., д.т.н., проф.	Волгоград, ВолгГТУ
Кулагин В.П., д.т.н., проф.	Москва, МТУСИ
Лавлинский В.В., д.т.н., проф.	Воронеж, ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова
Макарова И.Л., к.т.н., доц.	Сочи, СГУ
Молоканов Г.О., к.т.н., доц.	Калининград, БФУ им. И. Канта
Молоканова-Москалюк О.А., к.т.н., доц.	Калининград, зав.лаб., БФУ им. И. Канта








Нурмагомедова Р.А.	Сочи, представитель оргкомитета ИНФО
Саушев А.В., д.т.н., проф.	Санкт-Петербург, зав. каф., ГУМРФ им. адмирала С.О.Макарова
Старых В.А., к.т.н., проф.	Москва, рук. департамента, НИУ ВШЭ
Стукач О.В., д.т.н., проф.	Москва, НИУ ВШЭ
Тихомирова Т.М., д.э.н., проф.	Москва, РЭУ им. Г.В. Плеханова
Томашевская В.С., к.т.н., доц.	Москва, зав. аспирантурой, РТУ МИРЭА
Тумковский С.Р., д.т.н., проф.	Москва, зам. директора, НИУ ВШЭ
Ханова З.Г., д.п.н., проф.	Москва, ПП РД при Президенте РФ
Харьков В.П., д.т.н., проф.	Москва, советник ген. дир. ООО «НПО НаукаСофт»
Чернова Н.И., д.пед.н., проф.	Москва, зав. каф., РТУ МИРЭА
Чернодаров А.В., д.т.н., проф.	Москва, гл.н.с. ООО «НПО НаукаСофт»
Шахмаева А.Р., к.т.н., доц.	Махачкала, декан, ДГТУ
Шихнабиева Т.Ш., д.пед.н., проф.	Москва, РТУ МИРЭА
Штерн Ю.И., д.т.н., доц.	Москва, зав. каф., НИУ МИЭТ

КООРДИНАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Иванов В.С., РТУ МИРЭА

Панасик Д.С., ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

Черенков В.И., РТУ МИРЭА

Соорганизаторы	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет»	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сочинский государственный университет»	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет»	
Научно-производственное объединение «НаукаСофт»	
Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского	
Общенациональный союз некоммерческих организаций	

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ

- | | |
|---|---|
| <p>Журнал «Датчики и системы»
Журнал «Измерительная техника»
Журнал «Информационные технологии»
Журнал «Качество. Инновации. Образование»
Журнал «Методы менеджмента качества»
Журнал «Надежность и качество сложных систем»
Журнал «Научный вестник МГТУ гражданской авиации»
Журнал «Научные исследования: итоги и перспективы»</p> | <p>Журнал «Правовая информатика»
Журнал «Приборы»
Журнал «Прикаспийский журнал управления и высокие технологии»
Журнал «Проблемы управления»
Журнал «Russian Technological Journal»
Журнал «САПР электроники»
Журнал «Стандарты и качество»
Журнал «Технологии ЭМС»</p> |
|---|---|

ГЛАВА 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ, ПОИСКОВЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

ПРИНЦИП КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА В СИСТЕМЕ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ БПЛА

Надеждин Е.Н., Глазырин И.А., Глущенко В.Е.
ФГАОУ ВО «Российский государственный гуманитарный университет»

Аннотация – Статья посвящена проблеме повышения точности оценивания параметров состояния БПЛА на основе комплексирования измерительных устройств и алгоритмов обработки информации в составе бортового навигационного комплекса (БНК). С учетом результатов теории комплексных информационно-измерительных систем сформулирована задача интеграции алгоритмов обработки информации в бортовом вычислительном устройстве (БВУ). Показано, что помимо алгоритмов динамической фильтрации, традиционно используемых для комплексной обработки измерительной информации, в состав математического обеспечения БВУ должны быть включены процедуры машинного обучения. Приведен пример построения КИ, объединяющего бортовую инерциальную навигационную систему, спутниковую навигационную систему и барометрический высотомер. Для слабосвязанной схемы комплексного измерителя БНК определен оптимальный состав алгоритмического обеспечения БВУ.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, бортовой навигационный комплекс, комплексирование измерительных устройств, алгоритмическое обеспечение, процедуры машинного обучения.

Principle of comprehensive information processing when identifying the state of an object in the system of group control of a UAV. Nadezhdin E.N., Glazyrin I.A., Glushchenko V.E., Russian State Humanitarian University

Abstract - The article is devoted to the problem of increasing the accuracy of estimating the state parameters of UAVs based on the integration of measuring devices and information processing algorithms in the on-board navigation complex (ONC). Taking into account the results of the theory of complex information and measuring systems, the problem of integrating information processing algorithms in the on-board computing device (OCD) is formulated. It is shown that in addition to the dynamic filtering algorithms traditionally used for complex processing of measurement information, the mathematical support of the OCD should include machine learning procedures. An example of constructing a CI combining an on-board inertial navigation system, a satellite navigation system and a barometric altimeter is given. For a loosely coupled circuit of the OCD complex measuring device, the optimal composition of the OCD algorithmic support is determined.

Keywords: unmanned aerial vehicle, on-board navigation complex, integration of measuring devices, algorithmic support, machine learning procedures.

Введение

Современный этап развития сил и технических средств МЧС характеризуется повышенным интересом к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА), которые сегодня успешно используются для разведки местности, поиска и спасения людей и решения других специальных задач. К бортовому оборудованию БПЛА предъявляется комплекс противоречивых тактико-технических требований, реализация которых должна опираться на накопленный опыт проектирования и результаты поисковых научных исследований. Одной из актуальных научно-технических проблем в области беспилотной авиации является обеспечение устойчивости процесса траекторного управления БПЛА в условиях влияния дестабилизирующих факторов.

В настоящей работе рассматривается задача повышения качества идентификации параметров текущего состояния БПЛА при воздействии помех окружающей среды через реализацию принципа комплексирования информационно-измерительных средств в составе бортового навигационного комплекса (БНК) оборудования.

Как известно, главная идея комплексирования измерительных средств состоит в том, чтобы рационально использовать информацию об одних и тех же или функционально взаимосвязанных параметрах, полученных от различных информационных устройств, для повышения точности определения этих параметров [1].

Вопросы создания комплексных измерительных систем привлекают внимание разработчиков и конструкторов на протяжении нескольких десятилетий. В качестве триггера инноваций здесь выступает высокий потенциал комплексных систем, позволяющих эффективно использовать введенную в базовую систему избыточность (аппаратную, функциональную, информационную и др.) в интересах повышения её

помехозащищенности и качества функционирования. Среди первых научных трудов в области комплексирования укажем работу [2], в которой с позиций классической теории автоматического управления раскрыта идея синтеза комплексных измерителей (КИ) и показаны перспективы её осуществления в системах радиоавтоматики. В более поздних исследованиях в качестве методической основы для осуществления комплексирования устройств, отличающихся принципом действия и физическими эффектами, стали использовать результаты современной теории управления и, в частности, методы нестационарной линейной и нелинейной фильтрации.

В настоящее время в силу стремительного развития элементной базы микро- и нанoeлектроники и появления высокопроизводительных бортовых вычислительных устройств (БВУ) вопросы комплексирования бортового оборудования получили второе дыхание. Традиционно в основе комплексных информационно-измерительных систем лежит идея глубокой интеграции (комплексирования) измерителей и/или измерительных каналов, существенно отличающихся принципом действия. Потенциально при этом можно добиться наибольшего положительного эффекта. Применительно к БПЛА малого и среднего класса возможности для введения аппаратной избыточности на уровне измерительных систем лимитируются жесткими требованиями к массе, рабочим объемам, энергопотреблению и стоимости бортового оборудования. Это обстоятельство стимулирует поиски новых конструкторских идей и технических решений.

Обзор доступных источников [1, 4, 5], отражающих текущее состояние исследований в области теории и практики перспективных БНК, показал возможность обобщения принципа комплексирования на задачи первичной и вторичной обработки измерительной информации на базе БВУ. Наши исследования на уровне анализа, аналитических расчетов и имитационного моделирования на примере БНК отечественного прототипа БПЛА среднего класса подтвердили целесообразность и перспективность продолжения таких работ.

Постановка и решение задачи

Особенностью авторского подхода к проблеме обеспечения устойчивости управления БПЛА в условиях помех является реализация принципа комплексирования алгоритмов фильтрации Калмана (ФК) при вторичной обработке измерительной информации, поступающей от штатных измерительных подсистем: спутниковой навигационной системы, инерциальной навигационной системы и измерителя высоты полёта. Модульное построение и итерационный характер алгоритмов динамической фильтрации, привлекаемых для численного решения задач оценивания и идентификации вектора состояния объекта, создаёт дополнительные предпосылки для интеграции базовых алгоритмов ФК и распараллеливания отдельных процедур и операций на платформе БВУ.

На рисунке 1 представлена укрупнённая функциональная схема БНК БПЛА, выбранного в качестве прототипа.

В составе БНК выделены три информационных канала: спутниковая навигационная система (СНС), содержащая радиоприёмник, блок первичной обработки информации и блок слежения за доплеровским смещением частоты; барометрический измеритель высоты (БИВ) с блоком коррекции инструментальных ошибок; бесплатформенная инерциальная навигационная система (ИНС), включающая измерительные датчики (акселерометры), блок компенсации погрешностей (ориентации осей чувствительности) акселерометров и блок функционального преобразования; бортовое вычислительное устройство, математическое обеспечение которого содержит комплекс алгоритмов динамической фильтрации – фильтры Калмана, базу данных и алгоритмы машинного обучения (МО).

Благодаря различной физической природе и отличающимся принципам формирования навигационных параметров СНС и ИНС хорошо дополняют друг друга. Данное обстоятельство определяет целесообразность параметрического комплексирования информационных датчиков-измерителей СНС и ИНС, а также БИВ и ИНС.

Согласно принятой классификации комплексных информационно-измерительных систем (ИИС) [3] рассматриваемую функциональную схему БНК следует отнести группе слабо связанных ИИС. Наличие функциональной избыточности даёт основание для корректировки и экстраполяции значений параметров СНС и корректировки параметров измерителя высоты за счет данных, поступающих от блока функционального преобразования ИНС. В классическом варианте применение алгоритмов ФК позволяет на этапе вторичной обработки измерительной информации осуществить оценивание фазовых координат БПЛА, необходимых для формирования команд управления.

Включение в состав математического обеспечения БВК алгоритмов машинного обучения направлено на выбор (генерацию) из компонентов базовых алгоритмов ФК оптимальной технологии (схемы) динамической фильтрации, обеспечивающей наилучшие временные показатели с учетом ограничений на величину ошибки оценивания. К задаче выбора технологии фильтрации в нашем случае могут быть отнесены следующие частные задачи:

- 1) идентификация признаков и вида помеховой ситуации;

- 2) определение размерности вектора оцениваемых параметров с учетом помеховой ситуации;
- 3) собственно выбор, активизация и настройки рабочих алгоритмов ФК;
- 4) вопросы предобработки (преобразования) поступающей измерительной информации.
- 5) генерация оптимальной схемы обработки измерительной информации в виде цепочки программных модулей.

Для осуществления генерации оптимальной схемы (технологии) комплексной обработки измерительной информации предлагается использовать методику численного решения информационно-зависимых прикладных задач, изложенную в авторской работе [6].

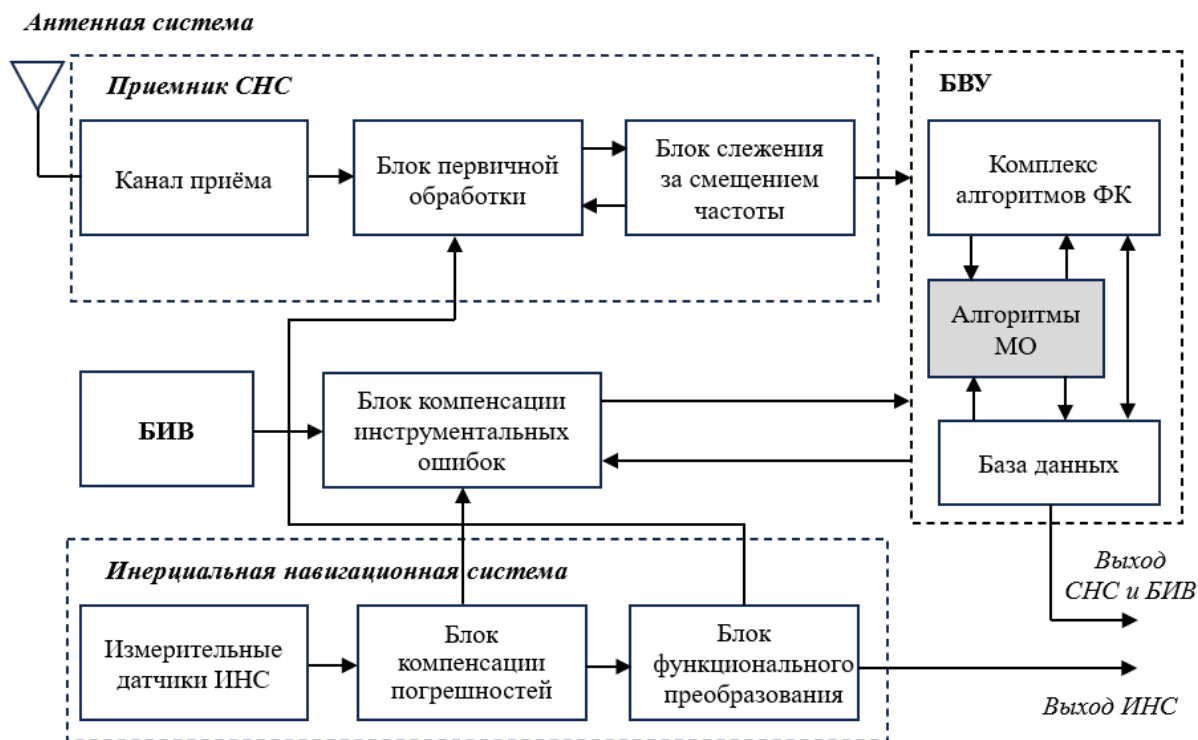


Рисунок 1 – Укрупнённая функциональная схема бортового навигационного комплекса.

Заключение

Применительно к БПЛА среднего класса рассмотрены особенности комплексирования СНС и ИНС в составе БНК, построенного по базовой схеме слабо связанной комплексной системы. Принцип функционального комплексирования обобщен на алгоритмическое обеспечения БВК, ядро которого формируют алгоритмы динамической фильтрации по Калману. Для поддержки механизма комплексирования алгоритмов ФК предложено использовать процедуры машинного обучения, функционал которых состоит в идентификации помеховой ситуации, в выборе и настройке рабочих алгоритмов ФК и в формировании цепочки модулей, реализующих оптимальную схему вторичной обработки измерительной информации. В перспективе алгоритмы машинного обучения должны взять на себя функции распараллеливания модулей алгоритмов оценивания измерительной информации.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта РГГУ «Информационно-аналитическая система для автоматизированного управления роем беспилотных летательных аппаратов специального назначения» (конкурс «Студенческие проектные научные коллективы РГГУ»).

Литература

1. Иванов Ю.П. Комплексирование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов: учеб. пособие для вузов / Ю.П. Иванов, А.Н. Сиянков, И.В. Филатов; под ред. В.А. Боднера. – Л.: Машиностроение, 1984. – 207 с.
2. Бобнев М.П., Кривицкий Б.Х., Ярлыков М.С. Комплексные системы радиоавтоматики. – М.: Сов. радио, 1968. – 232 с.
3. Ташков С.А. Исследование существующих подходов к комплексированию информационных датчиков навигационных систем беспилотных летательных аппаратов / С.А. Ташков, Д.Ю. Булочников,

Р.Р. Шатовкин. – Текст : электронный // NovaInfo, 2018. - № 91. – С. 49-62. – URL: <https://novainfo.ru/article/15811>. (дата обращения: 30.07.2024).

4. Ермаков П.Г., Гоголев А.А. Сравнительный анализ схем комплексирования информации бесплатформенных инерциальных навигационных систем беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. Выпуск № 117. DOI: 10.34759/trd-2021-117-11.

5. Ерохин В.В., Лежанкин Б.В., Болелов Э.А. Оценка параметров траекторного движения БПЛА при различной конфигурации источников навигационной информации // Успехи современной радиоэлектроники. 2023. Т. 77. № 6. – С. 35-49. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700784-202306-04>

6. Надеждин Е.Н., Сизов В.А., Сиренко А.В. Математическая модель синтеза оптимальной логической структуры комплекса информационно-зависимых задач в автоматизированных системах управления // Известия Тульского государственного университета. Материалы Всероссийской НТК 21.11.2003 г., посвящённой 50-летию кафедры ракетостроения. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2003.- Выпуск 6. Часть 2. – С. 400-402.

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ВЫХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А., Бадеев В.А., Васильев Ю.А.*, Оленская А.В.*, Аюпова Ф.С.*
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет»
+79010083888, yurii-59@mail.ru

Аннотация. Выведена функция преобразования волоконно-оптического датчика микроперемещений отражательного типа с компенсационным каналом и фазовым выходом, который будет использоваться в системах диагностики челюстно-лицевых патологий. Для ее линеаризации предложено ввести компенсационный канал, в котором сигнал остается постоянным в процессе измерения. Предложено осуществить линеаризацию функции преобразования датчика путем компенсации нелинейности квадратичной функции волоконно-оптического преобразователя микроперемещений нелинейностью функции арктангенса при фазовом преобразовании в цепях вторичного преобразователя путем подбора параметров элементов вторичной преобразующей системы.

Ключевые слова: выходная характеристика, микроперемещение, волоконно-оптический датчик, погрешность линейности, фазовый сигнал, компенсационный канал, выходная характеристика, отражающая точка, лицо, челюстно-лицевая патология

Linearization of the output characteristic of a fiber-optic microtransmission sensor. Murashkina T.I., Badeeva E.A., Badeev V.A., Vasiliev Yu.A.*, Olenkaya A.V. *, Ayupova F.S.*, Penza State University, * Kuban State Medical University

Annotation. The conversion function of a fiber-optic microtransmission sensor of a reflective type with a compensation channel and a phase output, which will be used in diagnostic systems for maxillofacial pathologies, has been derived. To linearize it, it is proposed to introduce a compensation channel in which the signal remains constant during the measurement process. It is proposed to linearize the sensor conversion function by compensating for the nonlinearity of the quadratic function of the fiber-optic microtransmission converter by the nonlinearity of the arctangent function during phase transformation in the circuits of the secondary converter by selecting the parameters of the elements of the secondary converting system.

Keywords: output characteristic, micro-displacement, fiber-optic sensor, linearity error, phase signal, compensation channel, output characteristic, reflecting point, face, maxillofacial pathology

Введение

При проведении медицинских измерений в процессе диагностики различных заболеваний, все чаще применяются оптические методы измерений [1,2], в том числе при проведении морфометрических измерений по определению положение отдельных точек на лице человека, страдающего той или иной челюстно-лицевой патологией [3].

Авторами разработан двухканальный волоконно-оптический датчик линейных микроперемещений (ВОДМП) отражательного типа с фазовым выходом для волоконно-оптических систем диагностики медицинского применения (рисунок 1).

Принцип действия ВОДМП основан на том, что о положении белой точки, нанесенной на лицо пациента судят по интенсивности светового потока, доставленного в зону измерения от светодиода с помощью подводящего оптического волокна (ПОВ), и отраженного от данной точки [4]. Отраженный световой сигнал с помощью отводящего оптического волокна (ООВ) доставляется на

светочувствительную площадку фотодиода, работающего в линейном режиме, с нагрузки которого снимается напряжение $U_1(x) = aN\Phi_0 S_B F(x)$, где a – коэффициент использования светового потока; N – коэффициент, характеризующий потери оптического сигнала в оптической системе; S_B – фоточувствительность фотодиода $F(x)$ – функция преобразования микро-оптической системы отражательного типа, которая имеет вид $F(x) = \frac{1}{1 \pm \alpha x^2}$, где $\pm \alpha$ – коэффициент, определяющий нелинейность зависимости $U=f(x)$, обусловленную нелинейным изменением оптического поля в пространстве [5]. Если происходит удаление отражающей точки от датчика, то эта функция будет возрастающей, тогда принимается знак «+», а если приближается то «-»; x – текущее значение микроперемещения.



Рисунок 1 – Фото разработанного ВОДМП отражательного типа.

Тогда

$$U_1(x) = \frac{U_0}{1 \pm \alpha x^2}, \quad (1)$$

где U_0 – сигнал, снятый с нагрузки приемника излучения при $x=x_0$.

Как видим, зависимость (1) резко нелинейная, что снижает точность диагностирования ЧЛП. Поэтому стоит задача снижения нелинейности выходной характеристики датчика.

Цель работы – повышение точности измерения за счет снижения составляющей основной погрешности: погрешности линейности функции преобразования ВОДМП.

Материалы и методы

Возможно несколько подходов для достижения поставленной цели.

Во-первых, можно снизить кривизну функции $F(x)$ искусственным путем, изменив профиль белой точки, нанесенной на лицо пациента. Для этого точка должна иметь в центре темный участок. Но ввиду того, что размер точки должен быть сравним с размерами торца оптического волокна, то сама процедура нанесения точки, имеющей такой сложный профиль, достаточно трудоемка, и возможно ее искажение, что приведет к возникновению инструментальной составляющей погрешности: погрешности взаимодействия средства измерений с объектом измерений.

Во-вторых, можно уменьшить диапазон измерений, существенно приблизив торец датчика к лицу пациента, но при этом возможна неработоспособность датчика из-за того, что отраженный свет не попадает в отводящее оптическое волокно. Формализация распределения светового потока в микро-оптической системе определяет начальное местоположение отражающей точки по отношению к торцам ПОВ и ООВ. Ранее в работе [4] было определено, что если ПОВ и ООВ имеют одинаковые геометрически размеры, например, внешний диаметр волокна 0,5 мм, а диаметр его сердцевины 0,2 мм, то целесообразно, чтобы первоначальное расстояние между торцом датчика и отражающей точкой было 1,2...1,5 мм. Диапазон микроперемещений в этом случае относительно начальной точки должен быть 0,5...1,5 мм.

Поэтому основным подходом является реализация ВОДМП с фазовым выходом, что предполагает его двухканальное исполнение [6]. Волоконно-оптические датчики, разрабатываемые в НТЦ «Нанотехнологии волоконно-оптических систем» традиционно имеют два измерительных канала [7], что позволяет применить данный подход.

Для получения линейной функции преобразования ВОДМП изготавливается двухканальным: первый канал - рабочий, а второй – компенсационный (опорный). Выходным сигналом датчика является

фаза гармонического суммарного сигнала U_{Σ} относительно гармонического компенсационного сигнала U_2 :

$$\varphi = \arctg \frac{\sin \varphi_{12}}{\cos \varphi_{12} + \frac{U_2}{U_1(x)}}, \quad (2)$$

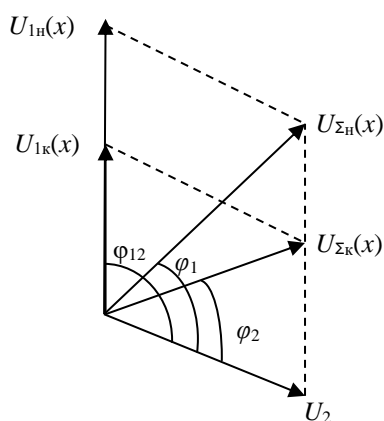
где $U_1(x)$, U_2 , φ_1 , φ_2 – уровни сигналов и начальные фазы рабочего и компенсационного суммируемых гармонических сигналов соответственно [8].

Принцип действия ВОДМП с фазовым выходом следующий.

Гармонически промодулированный оптический сигнал светодиода проходит через микро-оптическую систему датчика на белую точку и обратно на рабочий фотодиод, согласованный по спектру со спектром светодиода.

С нагрузки рабочего фотодиода снимается напряжение $U_p(x)$, соответствующее расстоянию x от отражающей точки до рабочего торца ООВ. Сигнал $U_p(x)$ с нагрузки рабочего фотодиода поступает на вход усилителя, с выхода которого снимается напряжение $U_1(x)$.

Световой поток этого же светодиода направляется по ПОВ компенсационного канала на зеркало, не меняющее свое положение в процессе измерений. Дальнейшие преобразования сигналов в компенсационном канале аналогичны процессам в рабочем измерительном канале. Формируется компенсационный сигнал U_k , уровень которого в процессе измерений не меняется. Сигнал U_k поступает на фазосдвигающую RC-цепь, с выхода которой снимается сигнал U_2 , повернутый по фазе относительно сигнала $U_1(x)$ на угол φ_{12} (рисунок 2).



$U_{1n}(x)$ – выходное напряжение рабочего канала в начале диапазона измерения; $U_{1k}(x)$ – выходное напряжение рабочего канала в конце диапазона измерения; U_2 – выходное напряжение компенсационного канала; $U_{\Sigma n}(x)$, $U_{\Sigma k}(x)$ – суммарные сигналы рабочего и компенсационного канала в начале и конце диапазона измерения соответственно; φ_{12} – угол между выходными сигналами U_1 и U_2 ; φ_1, φ_2 – фазы суммарных сигналов $U_{\Sigma n}(x)$ и $U_{\Sigma k}(x)$ соответственно

Рисунок 2 - Векторная диаграмма сигналов ВОДМП с фазовым выходом

Данный угол определяется параметрами RC-цепи. Если угол по расчетам должен превышать 90 градусов, то добавляется еще одна RC-цепь.

Сигналы $U_1(x)$ и U_2 поступают на входы микросхемы, реализующей функции их геометрического суммирования. С выхода микросхемы суммарный сигнал U_{Σ} поступает на один из входов фазометра, который используется в качестве вторичного преобразователя. На второй вход фазометра поступает сигнал U_2 , который является опорным.

Суммарный сигнал U_{Σ} поступает на один из входов фазометра Φ , который используется в качестве вторичного преобразователя. На второй вход фазометра поступает сигнал U_2 , который является опорным. Выходным сигналом ВОДМП является сдвиг фазы суммарного сигнала U_{Σ} относительно опорного U_2 , определяемый выражением (2).

Отношение сигналов $U_2/U_1(x)$ ввиду нелинейности сигнала $U_1(x)$ будет иметь такую же нелинейность, как и сигнал на выходе микро-оптической системы (см. выражение (2)).

Подбирая значения компенсационного сигнала U_2 и фазы φ_{12} между сигналами $U_1(x)$ и U_2 можно добиться снижения погрешности линейности функции преобразования ВОДМП (2).

При этом определено, что линейность зависимости $\varphi=f(x)$ зависит от:

- сдвига фаз φ_{12} между сигналами $U_1(x)$ и U_2 ;

- расположения точки x в диапазоне измерения $x_{min}...x_{max}$, в которой $U_1(x)=U_2$;
- коэффициента α в выражении (1).

Расчетное соотношение этих параметров позволяет добиться максимальной линейности функции $\varphi = f(x)$ (3).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\varphi'(x)|_{x=0}}{\varphi'(x)|_{x=x_{\partial}}} = 1 \\ \frac{\varphi'(x)|_{x=x_{\partial}}}{\varphi'(x)|_{x=0}} = n, \quad 1 \leq n \leq \xi \end{array} \right. \quad (3)$$

где n – коэффициент нелинейности выходной характеристики оптической системы; $\xi = 3...5$ (значение ξ определяется требованиями ТЗ в каждом конкретном случае).

Заключение

Выведенная функция преобразования ВОДМП отражательного типа с компенсационным каналом учитывает, что сигнал в компенсационном канале остается неизменным, а в рабочем канале пропорционален измеряемому микроперемещению белой точки на лице пациента, а также то, что оптический сигнал в рабочий и компенсационный каналы поступают от одного и того же источника излучения.

Предложено осуществить линеаризацию функции преобразования $\varphi=f(x)$ путем компенсации нелинейности квадратичной функции волоконно-оптического преобразователя микроперемещений нелинейностью функции арктангенса при фазовом преобразовании в цепях вторичного преобразователя путем подбора параметров элементов вторичной преобразующей системы.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда в виде гранта № 22-15-20069 (<https://rscf.ru/project/22-15-20069/>).

Литература

1. Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Серебряков Д.И., Васильев Ю.А., Хасаншина Н.А., Славкин И.Е. Волоконно-оптическая диагностическая система аномалий челюстно-лицевой области на основе датчиков давления//Материалы V Межд. конф. «Современные нейрокибернетические технологии в реабилитации и развитии когнитивных способностей человека» (СНТРЧ-2020), Московский государственный гуманитарно-экономический университет (МГГЭУ) 26-27 ноября 2020 г. - С. 90-95.
2. Бадеева Е.А., Арутюнов А.В., Мурашкина Т.И., Васильев Ю.А., Аюпова Ф.С., Гуленко О.В. [Перспективные возможности оптических методов измерения в диагностике герпетической инфекции полости рта](#)// В сборнике: Новые технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии. Материалы Международной конференции NT + M&Ec`2021. Весенняя сессия. Москва, 2021. - С. 44-47.
3. [A Nobili, R Adversi, Relationship between posture and occlusion: a clinical and experimental investigation/Cranio, 14 \(1996\), pp. 274-285, CrossRefView Record in ScopusGoogle Scholar.](#)
4. Бадеева Е.А., Коломиец Л.Н., Кривулин Н.П. и [др.] Разработка теории распределения светового потока в оптической системе волоконно-оптических преобразователей физических величин отражательного типа: Монография // Под общ. ред. проф. Мурашкиной Т.И. - ИИЦ ПГУ, 2008 – 85
5. Мурашкина Т. И., Бадеев А.В. Линеаризация выходных характеристик рефлексометрических измерительных преобразователей перемещения // Датчики и системы.- 2005. - № 10.- С.12 -14.
6. Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Полякова Е.А., Славкин И.Е., Кукушкин А.Н. [Реализация принципа двухканальности в волоконно-оптических информационно-измерительных системах](#)//Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки- Пенза: Изд-во Пенз. Гос ун-та. - 2021. - №2 (58). - с. 87-98.
7. Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А. Волоконно-оптические приборы и системы: Научные разработки НТЦ "Нанотехнологии волоконно-оптических систем" ПГУ Ч. I / СПб.: Политехника, 2018. 187 с. <https://doi.org/10.25960/7325-1132-1>
8. Мурашкина Т. И., Бадеев А. В. Оптоэлектронный датчик перемещений // Датчики и системы. -2003. - №5. - с.30 – 32.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ПОДАВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ПОМЕХ И ШУМОВ НА ОСНОВЕ
РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ ГРОМКОГОВОРЯЩЕЙ СВЯЗИ

Бейлекчи Д.В., Кирилин А.А.
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
+79206213487, dmibei@yandex.ru

Статья посвящена исследованию эффективности применения рекурсивных нейронных сетей для алгоритмов фильтрации аддитивных акустических помех и шумов в системах громкоговорящей связи с применением технологий цифровой телефонии. Рассмотрена применяющаяся в исследовании модель рекуррентной нейронной сети, описаны критерии оценки качества фильтрации речевого сигнала и разработанная программная система исследования моделей фильтрации речевого сигнала для обеспечения качественной передачи речевой информации в условиях различных помех и шумов.

Ключевые слова: обработка речевого сигнала, акустические шумы, нейронные сети, алгоритмы обработки речи, системы громкоговорящей связи.

Application of acoustic interference and noise suppression model based on recurrent neural networks in loudspeaker communication systems. Beylekchi D.V., Kirilin A.A. Murom Institute (branch) Vladimir State University.

The paper is devoted to the research of the efficiency of recursive neural networks application for algorithms of additive acoustic interference and noise filtering in loudspeaker communication systems using digital telephony technologies. The model of recurrent neural network used in the study is considered, the criteria for assessing the quality of speech signal filtering and the developed software system for the study of speech signal filtering models to ensure quality transmission of speech information under conditions of various interference and noise are described.

Keywords: speech signal processing, acoustic noise, neural networks, speech processing algorithms, loudspeaker communication systems.

Наличие акустических помех и шумов в речевом сигнале, поступающем с микрофона в телекоммуникационных системах громкоговорящей связи работающих в сложных условиях (производственные помещения, объекты транспортной инфраструктуры), является одной из основных проблем, влияющих на качество связи, которые могут привести к потере информации или ее искажению при передаче данных через интернет по протоколам SIP-телефонии [1].

Существуют различные алгоритмы адаптивной фильтрации шума в речевых сигналах [2, 3], но зачастую они требуют высокой вычислительной мощности обрабатывающих устройств, что повышает стоимость окончательного оборудования. Другим вариантом реализации фильтрации, который применяется в современных программных средствах для телекоммуникации, является использование технологии клиент-сервер. При таком подходе зашумленный речевой сигнал или его определяющие параметры передаются от клиента на сервер, где происходит обработка, далее очищенный или восстановленный сигнал передается на дальнейшую обработку или непосредственно клиенту-адресату. Но для реализации такого способа требуется или наличие локального дорогостоящего серверного оборудования и постоянный канал связи с сервером, или, если применяются облачные технологии, постоянное подключения к сети Интернет. Во многих случаях применения громкоговорящих систем такие требования сложно выполнить, и при этом ухудшается общая надежность системы.

Поэтому основной задачей данной работы является построение программной системы для исследования моделей, которые позволяют обеспечить качественную фильтрацию на конечном оборудовании с учетом ограниченной вычислительной мощности. Исследование проводится для разработки алгоритмов программного обеспечения устройств, применяемых в телекоммуникационных системах диспетчерской и оперативно-командной связи.

Рекуррентные нейронные сети [4] являются эффективным инструментом для обработки временных последовательностей, таких как речевой сигнал, и фильтрации в нем акустических помех. Основное преимущество таких сетей заключается в их способности учитывать контекстную информацию при обработке данных. В отличие от традиционных нейронных сетей, они могут обрабатывать входные данные по одному элементу за раз, сохраняя при этом информацию о предыдущих элементах. Это позволяет им эффективно моделировать временную структуру речевого сигнала и выделять паттерны, связанные с полезной речевой информацией, на фоне различных акустических помех. Применение рекуррентных нейронных сетей в задачах фильтрации речевого сигнала от акустических помех позволяет достичь высокой точности и эффективности за счет их способности к адаптивному обучению и распознаванию скрытых закономерностей в данных.

Для повышения эффективности сетей для задач фильтрации речевых сигналов используются их более сложные вариации, такие как долгая краткосрочная память (LSTM) и управляемый рекуррентный блок (GRU). Данные архитектуры помогают преодолеть проблему исчезающего градиента, которая может возникать в классических рекуррентных нейронных сетях при работе с длинными последовательностями данных, делая обучение более стабильным и эффективным.

Существуют предложенные схемы применения моделей рекуррентных нейронных сетей, таких как RNNoise [5], но отсутствуют результаты по оценке качества фильтрации для условий применения в системах громкоговорящей связи и оценки требуемой производительности для использования в архитектурах микроконтроллеров, применяемых в оконечных устройствах систем громкоговорящей связи, таких как ARM Cortex-M. Схема обработки речевого сигнала с применением рекуррентной нейронной сети [5] приведена на рисунке 1, а модель используемой рекуррентной нейронной сети на рисунке 2.

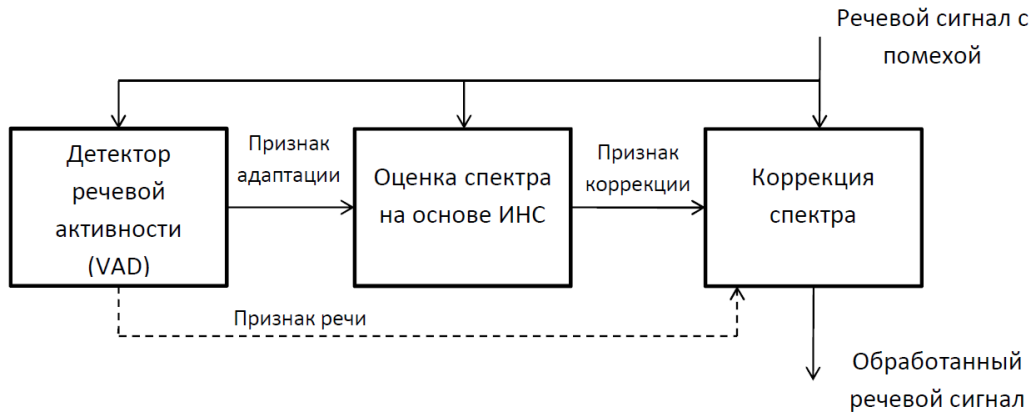


Рисунок 1 – Структурная схема обработки сигнала.

Нейронная сеть построена на основе управляемых рекуррентных блоков (GRU-сеть) и состоит из трех скрытых слоев с общей архитектурой 42-24-48-96-22 (всего 232 нейрона).

Управляемый рекуррентный блок является более современной и упрощенной вариацией рекуррентных нейронных сетей по сравнению LSTM. GRU обладает схожей структурой, но с меньшим количеством вент, при этом сохраняя эффективность в моделировании долгосрочных зависимостей и требуя меньшего количества параметров для обучения.

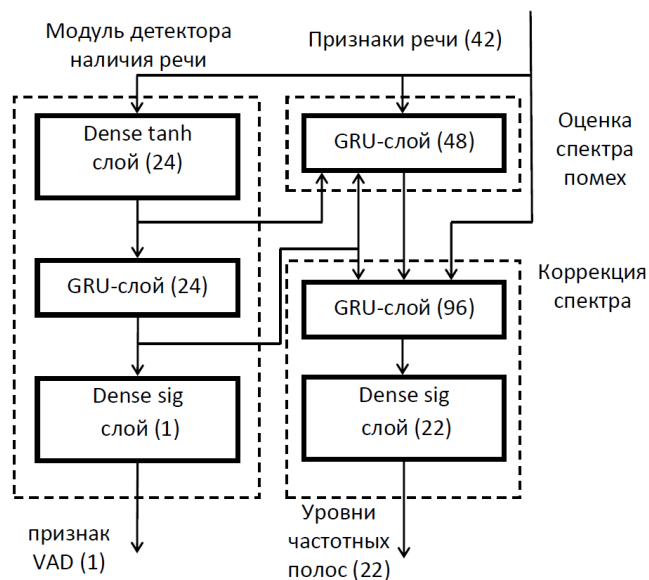


Рисунок 2 – Модель обработки речевого сигнала при помощи рекуррентной нейронной сети.

Входным вектором является набор вычисленных признаков речевого сигнала, которыми являются огибающие спектра сигнала – 22 усредненных значений для частотных полос по логарифмическому представлению спектра сигнала по психоакустической шкале Барка, а также 20

значений оценок корреляционной функции исходного сигнала, вычисленных по спектральным коэффициентам для учета основного тона речевого сигнала.

Выходным вектором сети являются 22 уровня коррекции, которые представляют собой уровни усиления частотных полос, а также признак наличия речи во входном сигнале.

Спектр сигнала вычисляется алгоритмом быстрого преобразования Фурье (БПФ), спектральные составляющие совместно с полученными уровнями усиления используются при коррекции спектра при наличии признака речи, результирующий сигнал вычисляется при помощи обратного БПФ над скорректированными спектральными составляющими.

Детектор речевой активности, формирующий признак наличия речи является частью ИНС, имеет один выход и реализуется при помощи рекуррентного блока на основе выходов первого скрытого слоя

Алгоритм обучения сети использует метод рекурсивного спуска и может потребовать высоких вычислительных затрат, но выполняется один раз при настройке модели.

Для исследования характеристик модели фильтрации была разработана программная система, структурная схема которой приведена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Функциональная схема системы для исследования модели обработки и анализа сигнала.

В разработанной системе предусмотрены две архитектурные конфигурации. Первая конфигурация, представляет собой базовый вариант системы, ориентированный на задачу фильтрации речевого сигнала от шума. Данная конфигурация применима в случаях, когда основной целью является получение очищенного от шума речевого сигнала без необходимости дальнейшего анализа или оценки качества фильтрации.

Вторая конфигурация является расширенной версией системы, предназначенной для проведения исследований и анализа эффективности модели нейронной сети, реализующей фильтрацию речевого сигнала. В данной конфигурации предусмотрен дополнительный блок генерации или наложения различных типов шумовых воздействий, который позволяет формировать множество зашумленных вариантов речевых сигналов с различными характеристиками шума и уровнями интенсивности.

Сгенерированные зашумленные речевые сигналы подаются на вход модели нейронной сети, что позволяет проводить комплексную оценку качества фильтрации модели в различных шумовых условиях, анализировать ее эффективность и устойчивость к различным типам шумовых искажений.

Блок обработки сигнала выполняет нормализацию амплитудных значений, ресэмплирование входного сигнала до частоты дискретизации 16 кГц, и, при необходимости, конвертацию стереосигнала в монофонический, а также квантование сигнала с разрешением в 16 бит.

Таким образом, базовая конфигурация предназначена для практического применения системы в задачах фильтрации речевых сигналов, в то время как расширенная конфигурация, ориентирована на исследовательские цели и позволяет проводить всесторонний анализ эффективности разработанной модели фильтрации в условиях различных шумовых воздействий.

Для оценки эффективности подавления шума в системе предусмотрены как визуальные, так и количественные методы анализа. В визуальном аспекте пользователю доступны спектрограммы, отображающие частотно-временную структуру как исходного сигнала, так и сигнала после фильтрации. Кроме того, пользователь может добавить шумовую составляющую к сигналу и получить спектрограммы зашумленного сигнала и самого шума.

В качестве количественных метрик используются отношение сигнал/шум (SNR) и показатель субъективного качества речи PESQ ITU-T P.862 [6]. SNR количественно характеризует превосходство

уровня полезного сигнала над фоновым шумом, выраженное в децибелах (дБ). SNR рассчитывается по формуле:

$$SNR = 10 * \log_{10} \left(\frac{P_{\text{сигнал}}}{P_{\text{шум}}} \right),$$

где $P_{\text{сигнал}}$ – мощность сигнала, $P_{\text{шум}}$ – мощность шума. Более высокое значение SNR свидетельствует о меньшем уровне шумовых помех в сигнале, что позволяет оценить степень чистоты и разборчивости сигнала.

Показатель PESQ моделирует восприятие качества речи человеком и используется для прогнозирования оценок, которые были бы получены в ходе субъективного экспертного тестирования. Алгоритм PESQ оценивает качество в диапазоне от 1 до 5 баллов, где 1 балл соответствует полному или частичному непониманию речи, а 5 баллов - восприятию речи без затруднений.

После фильтрации сигнала, в варианте архитектуры системы для исследования модели фильтрации, применяются алгоритмы для оценки качества фильтрации сигнала. Для этого вычисляются метрики SNR и PESQ. Последовательность действий для вычисления SNR следующая:

- на вход подаются зашумленный/отфильтрованный сигнал и шум;
- вычисляются мощности сигнала и шума;
- определяется значение SNR в децибелах.

Для вычисления метрики PESQ необходимо:

- на вход подать исходный и отфильтрованный сигналы;
- применить модуль реализации алгоритма PESQ.

Алгоритм обучения новой модели нейросети включает несколько этапов. Сначала извлекается исходная модель RNNoise, затем подготавливаются инструменты для обучения. Подготовленные аудиозаписи с чистой речью и шумами объединяются в наборы данных (датасеты), формируется обучающая выборка и конвертируется в формат .h5. Новая модель обучается на этих данных, после чего происходит её конвертация, сборка и сохранение. Все этапы осуществляются с помощью Python-скриптов, входящих в состав библиотеки RNNoise_wrapper и исходного модуля RNNoise.

В качестве языка программирования был использован Python ввиду наличия обширного набора библиотек и инструментов, ускоряющих процесс разработки в области машинного обучения и обработки данных. Для создания интерфейса пользователя была выбрана среда Qt Designer по причине широкой функциональности, возможности создания кроссплатформенных приложений и интеграцией с языком Python через библиотеку PyQt, что обеспечивает бесшовную связь между интерфейсом и логикой приложения.

Интерфейс системы в режиме анализа качества обработанного нейронной сетью речевого сигнала приведен на рисунке 4.

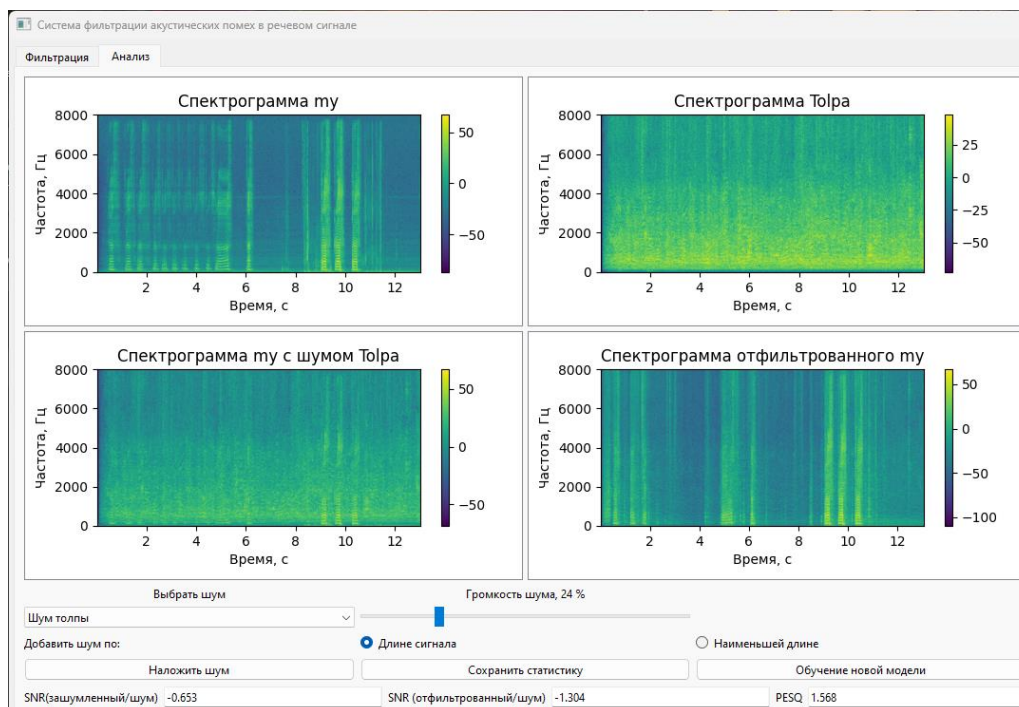


Рисунок 4 – Интерфейс системы исследования модели подавления акустических помех и шумов на основе рекуррентных нейронных сетей.

Разработанная система исследования моделей фильтрации построена по модульному принципу, при этом за фильтрацию сигнала отвечает модуль нейросети, написанный на языке С, который может быть заменен на другой модуль, реализующий алгоритм фильтрации речевого сигнала, поэтому разработанная система может использоваться для исследования различных моделей нейросетей, а также других алгоритмов фильтрации речевого сигнала. Исследованный, оптимизированный и протестированный модуль фильтрации речевого сигнала может быть применен в качестве программного модуля в программном обеспечении устройства для фильтрации речевого сигнала в реальном времени.

Исследование модуля с реализацией вышеописанной модели при использовании вычислений с плавающей точкой на одноплатных компьютерах с процессором архитектуры ARM Cortex-A53 (рисунок 5) и тактовой частотой 1.2 ГГц, показывает загрузку одного ядра процессора до 20% на одном потоке речевого сигнала, что требует оптимизации алгоритма для снижения до приемлемой нагрузки в 5-10%.

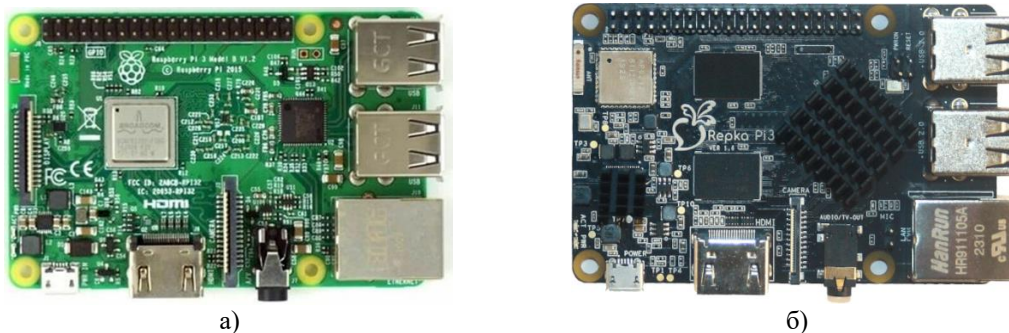


Рисунок 5 – Используемые аппаратные платформы: (а) Raspberry Pi 3; (б) Repka Pi-3.

Разработанная система позволяет выполнить оптимизацию количества формируемых признаков для обработки нейронной сетью, а также использовать целочисленные операции и операции с фиксированной точкой при вычислении признаков и расчетах выходов сети с контролем требуемого качества речевого сигнала, что необходимо для реализации данного алгоритма на микроконтроллерах архитектур Cortex-M4F и Cortex-M7 и применения в оконечных устройствах громкоговорящей связи более компактных и недорогих процессорных модулей.

Литература

1. Столбов М.Б. Основы анализа и обработки речевых сигналов: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2021. – 101 с.
2. Kropotov Y.A., Holkina N.E., Beilekchi D.V., Proskuryakov A.Y. Identification and estimation of acoustic signals parameters in telecommunication systems of audio exchange. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, DOI:9.1088/1742-6596/1096/1/012192.
3. Бейлекчи Д.В. Обработка акустических сигналов методами локального анализа в телекоммуникационных системах / Д.В. Бейлекчи, В.А. Ермолаев, Ю.А. Кропотов, // *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*. 2015.- № 1 (17). - С. 49-56.
4. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. «Глубокое обучение»/ пер. с англ. А.А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018 – 652 с.
5. Valin, Jean-Marc. (2018). A Hybrid DSP/Deep Learning Approach to Real-Time Full-Band Speech Enhancement. DOI:10.1109/MMSP.2018.8547084.
6. P.862: Perceptual evaluation of speech quality (PESQ) [Электронный ресурс], URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.862>, (Дата обращения: 14.06.2024)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИБЛИОТЕК РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Гавриков А.П., Колшаков А.А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
+7 (960) 172-68-95, desT.087@gmail.com

Работа посвящена экспериментальному исследованию характеристик библиотек распознавания речи в микропроцессорных системах. В рамках исследования разработана методика исследования,

проведено экспериментальное исследование производительности и точности работы выбранных библиотек на различных моделях современных одноплатных компьютеров, проведен анализ полученных результатов.

Основной целью исследования является выявление особенностей проектирования блоков распознавания речи на базе одноплатных компьютеров для дальнейшего внедрения в системы громкоговорящей связи.

Ключевые слова: производительность, точность, библиотека, распознавание речи, одноплатные компьютеры, нейронные сети.

Experimental study of speech recognition libraries using neural network technologies in microprocessor systems. Gavrikov A.P., Kolpakov A.A. Murom Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov"

The work is devoted to an experimental study of the characteristics of speech recognition libraries in microprocessor systems. As part of the study, a research methodology was developed, an experimental study of the performance and accuracy of the selected libraries on various models of modern single-board computers was conducted, and the results were analyzed.

The main purpose of the study is to identify the design features of speech recognition units based on single-board computers for further implementation in loudspeaker communication systems.

Keywords: performance, accuracy, library, speech recognition, single-board computers, neural networks.

В современном мире вычислительных систем одной из ключевых составляющих является обработка речевых сигналов. В частности, распознавание речи стало неотъемлемой частью многих приложений, от интеллектуальных помощников до систем безопасности. В этой области важной задачей является разработка эффективных методов распознавания речи, которые могут быть реализованы на базе микропроцессорных систем с использованием современных нейросетевых технологий.

Нейросетевые технологии, благодаря своей способности обучаться на больших объемах данных и выявлять сложные закономерности, стали мощным инструментом в области обработки речи. Они позволяют не только повысить точность распознавания, но и адаптировать системы к индивидуальным особенностям говорящих, а также к различным акустическим условиям.

На сегодняшний день интеллектуальные системы взаимодействия с пользователем становятся все более востребованными в различных сферах человеческой деятельности. Одной из ключевых технологий, лежащих в основе таких систем, является распознавание речи. Эта технология позволяет человеку общаться с компьютером или другими устройствами, используя естественный язык, что делает процесс взаимодействия более удобным и интуитивно понятным.

Если внимательно рассмотреть среды, где распознавание речи играет важную роль, то можно сделать следующие выводы:

1. Обработка речевых сигналов и обеспечение высокой точности распознавания является трудоемким и сложным процессом, требующим использования современных алгоритмов и вычислительных ресурсов.

2. Для успешного распознавания речи необходимо, чтобы система была обучена на достаточном количестве речевых образцов, включая различные голоса, акценты и диалекты.

3. Конфиденциальность и безопасность речевых данных являются критически важными аспектами. В открытых системах существует риск несанкционированного доступа к информации, что требует применения соответствующих мер защиты.

Ключевыми подходами в области распознавания речи выступают:

1. Моделирование на базе скрытых марковских моделей (СММ) [1]. Эти модели исторически применялись для описания временных рядов и особенно эффективны при анализе речевых сигналов, поскольку их механизм переходов между состояниями способствует учету динамики изменений в речи.

2. Использование нейронных сетей [2], включая полносвязные, сверточные и рекуррентные архитектуры, а также сетей, обучаемых с учителем на большом количестве уровней (глубокое обучение). Нейросетевые методы находят широкое применение в распознавании речи, выделении характерных признаков и анализе данных, представленных в виде последовательностей.

3. Создание гибридных систем [3]: В данном подходе объединяются различные технологии, такие как совместное использование СММ и нейронных сетей, что позволяет повысить точность и надежность процесса распознавания речи.

Нейросетевые технологии являются перспективным направлением для решения задач распознавания речи, особенно в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Было установлено, что использование нейронных сетей позволяет достичь высокой точности распознавания, гибкости и адаптивности к различным условиям.

Вместе с ростом популярности распознавания речи, появилось множество библиотек и инструментов, предназначенных для этой задачи. Среди них особенно выделяются библиотеки для распознавания речи на одноплатных компьютерах. Одноплатные компьютеры, такие как Raspberry Pi и Orange Pi, представляют собой небольшие устройства с ограниченными ресурсами, но при этом обладающие высокой мобильностью и удобством в использовании. Они нашли широкое применение в таких областях, как робототехника, медицина, интернет вещей и многое другое [4,5].

В экспериментальных исследованиях применялись микропроцессорные платформы Raspberry Pi 4 model B и Nvidia Jetson Nano как наиболее современные из имевшихся



Рисунок 1 – Raspberry Pi 4 model B

Raspberry Pi 4 – это одноплатный компьютер (рисунок 1), представленный компанией Raspberry Pi Foundation в 2020 году. Является последней моделью в серии Raspberry Pi, и включает в себя значительные улучшения по сравнению с предыдущими версиями. Устройство оснащено 1,5-гигагерцевым четырехъядерным процессором ARM Cortex-A72, 2 или 4 ГБ оперативной памяти LPDDR4 и доступно с различными вариантами хранения данных. Он также имеет беспроводные возможности, включая Wi-Fi 802.11ac и Bluetooth 5.0.



Рисунок 2 – Nvidia Jetson Nano

Nvidia Jetson Nano — это мощный и компактный компьютер (рисунок 2) для встроенных приложений и IoT с поддержкой современных AI технологий. Оснащен 128-ядерным графический процессором на архитектуре NVIDIA Maxwell, четырехъядерным процессором ARM Cortex-A57, 64-битной LPDDR4 оперативной памятью 4 ГБ с пропускной способностью 25.6 ГБ/с, поддерживает кодирования и декодирования видео в форматах 4K при 30 fps и 60 fps.

Оба модуля представляют собой доступные и мощные одноплатные компьютеры, которые могут использоваться в различных проектах, включая разработку исследованию производительности и точности библиотек для распознавания речи.

В данном исследовании были рассмотрены библиотеки Vosk и Whisper, использующие нейронные сети для распознавания речи на одноплатных компьютерах.

Эти библиотеки были выбраны для данного проекта, поскольку они предоставляют необходимые инструменты и возможности для проведения тестирования моделей распознавания речи.

Для оценки точности был разработан алгоритм метрики Word Error Rate (WER). WER (Word Error Rate) – это метрика, используемая для оценки точности систем распознавания речи. Она измеряет процент ошибок в распознанном тексте по сравнению с эталонным текстом [6]. Алгоритм расчета WER включает несколько ключевых шагов:

1. Разделение текста на слова: исходный и распознанный тексты разбиваются на слова для сравнения.
2. Создание матрицы расстояний: создается матрица, где каждая ячейка представляет минимальное количество операций (вставка, удаление, замена), необходимых для преобразования одного слова в другое.
3. Заполнение матрицы: матрица заполняется с учетом стоимости каждой операции, чтобы определить минимальное количество изменений, необходимых для преобразования одного текста в другой.
4. Вычисление WER: итоговое значение WER рассчитывается как отношение количества ошибок к количеству слов в эталонном тексте.

На рисунке 4 предоставлена блок-схема алгоритма WER..

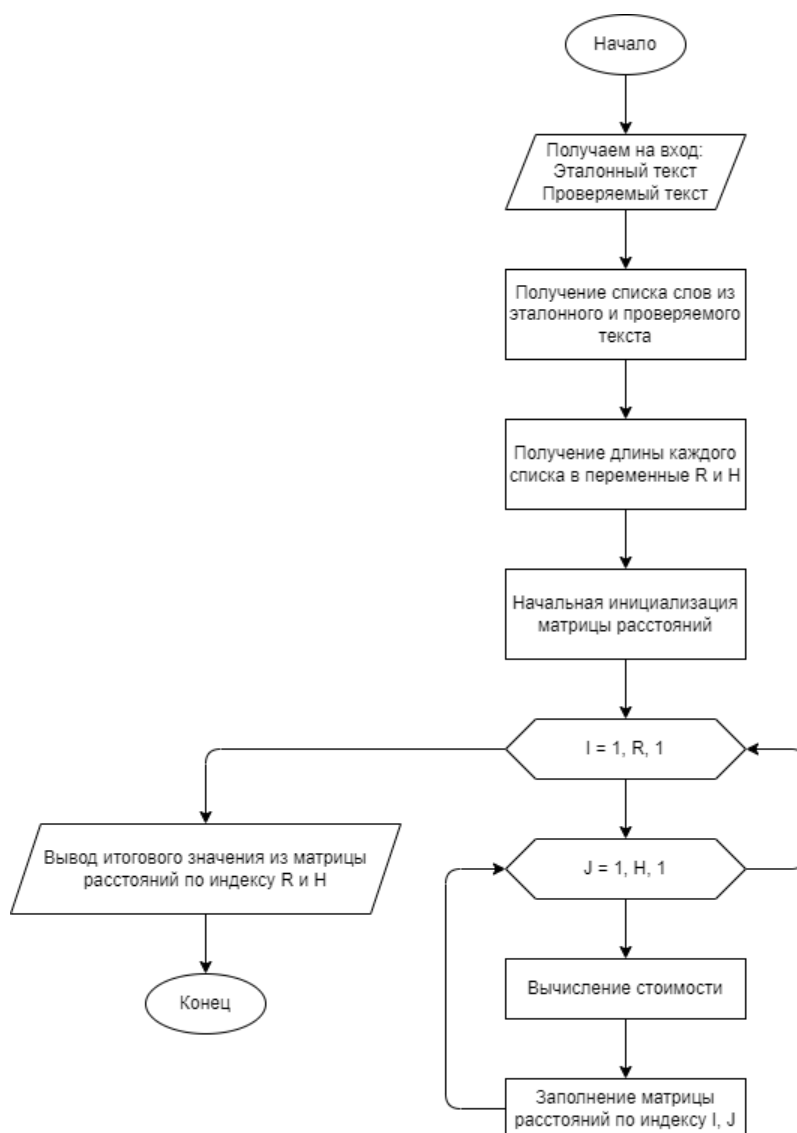


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма WER

Для проведения экспериментального исследования была разработана программа на языке программирования C++ с применением библиотеки QT5. Приложение состоит из нескольких основных модулей, каждый из которых выполняет специфические задачи. Архитектура приложения модульная, что упрощает разработку, тестирование и поддержку кода. Основные модули включают:

1. Главный модуль: предоставляет пользовательский интерфейс для управления тестами и координирует работу всех других модулей.

2. Модуль WER (Word Error Rate): вычисляет метрику WER, оценивая точность распознавания речи.

3. Модули Vosk и Whisper: обеспечивают взаимодействие с библиотеками распознавания речи Vosk и Whisper, включая загрузку моделей, распознавание речи и получение результатов.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны следующие метрики: скорость загрузки модели, скорость распознавания и шанс ошибки в сравнении эталонного и распознанного текста. Были подготовлены аудио-семплы для распознавания и эталонный текст. Всего было подготовлено 4 аудио-семпла длительностью 5, 15, 30 и 60 секунд. Каждый аудио-семплы был подготовлен в 5 вариантах: чистый, слабый (20%) и сильный (60%) белый шум, звук толпы и музыки на фоне. Для вычисления среднего значения один проход содержал 10 запусков. Также были подготовлены разные модели распознавания речи. Для библиотеки Vosk были загружены модели на 87 мегабайт, далее маленькая модель, и на 994 мегабайта, далее большая модель. Для библиотеки Whisper были загружены модели на 75, 144, 526 и на 868 мегабайт.

Для расчёта шанса ошибки было необходимо разработать алгоритм вычисления. Он строится на основе расстояния Левенштейна. Это метрика, измеряющая по модулю разность между двумя последовательностями символов. Она определяется как минимальное количество односимвольных операций (а именно вставки, удаления, замены), необходимых для превращения одной последовательности символов в другую. В общем случае, операциям, используемым в этом преобразовании, можно назначить разные цены. Широко используется в теории информации и компьютерной лингвистике. Однако в качестве метрики эталонная реализация расстояния Левенштейна не подходит, так как появляется проблема смещения текста из-за добавления новых слов.

Проблема заключается в том, что оригинальный алгоритм проверяет каждый символ в слове, а если в какой-то момент в тексте было добавлено одно или несколько слов, то все последующие слова будут сравниваться с несоответствующим словом, что сразу же будет определено как ошибка, хотя ею уже не является [7,8].

Из-за этого была разработана модификация, где в качестве слов принято сам текст, а в качестве символов слова текста. Эта модификация успешно решило проблему смещения текста относительно оригинального алгоритма.

Основные шаги алгоритма включают:

1. Разделение текста на слова: распознаваемый текст и эталонный текст разделяются на слова. Это необходимо для последующего сравнения.

2. Инициализация матрицы расстояний: создается матрица размером $(N+1) \times (M+1)$, где N - количество слов в эталонном тексте, а M - количество слов в распознаваемом тексте. Матрица заполняется начальными значениями, где каждая ячейка представляет стоимость преобразования подстрок текстов.

3. Заполнение матрицы расстояний: заполняется матрица расстояний, используя три возможные операции:

a. Удаление: стоимость удаления слова из эталонного текста.

b. Вставка: стоимость вставки слова в распознаваемый текст.

c. Замена: стоимость замены одного слова другим (равна 1, если слова различаются, и 0, если они совпадают).

4. Вычисление минимальной стоимости: для каждой ячейки матрицы вычисляется минимальная стоимость из трех возможных операций (удаление, вставка, замена). Это позволяет определить наименьшее количество операций для преобразования одной подстроки в другую.

5. Расчёт WER: WER рассчитывается как отношение минимального количества операций к общему количеству слов в эталонном тексте.

Этот алгоритм позволяет объективно оценить качество распознавания речи, предоставляя ясные и количественно измеримые результаты.

Для исследования были использованы актуальные версии библиотек: Vosk версия 0.3.45 и Whisper версия 1.6.2.

Далее на рисунке 5 приведены результаты исследования производительности библиотеки Vosk для маленькой (рисунок 5) и большой (рисунок 6) моделей.

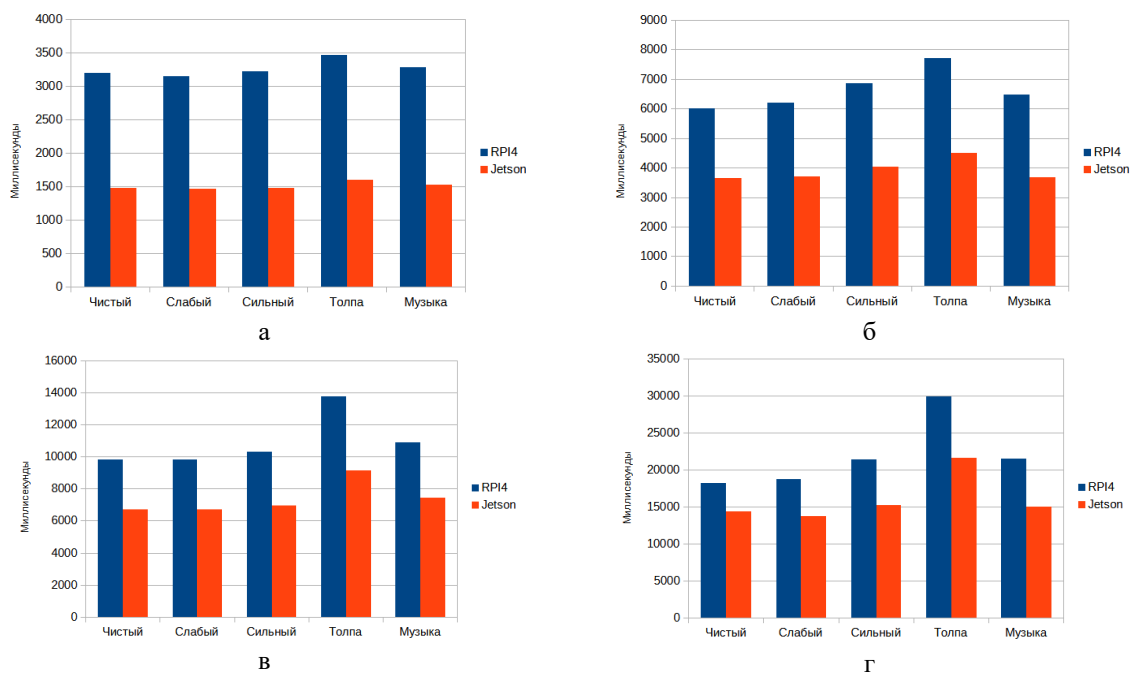


Рисунок 5 – Гистограмма показателей производительности одноплатных компьютеров для библиотеки Vosk с маленькой моделью, а – аудио-семпл 5 секунд, б – аудио-семпл 15 секунд, в – аудио-семпл 30 секунд, г – аудио-семпл 60 секунд

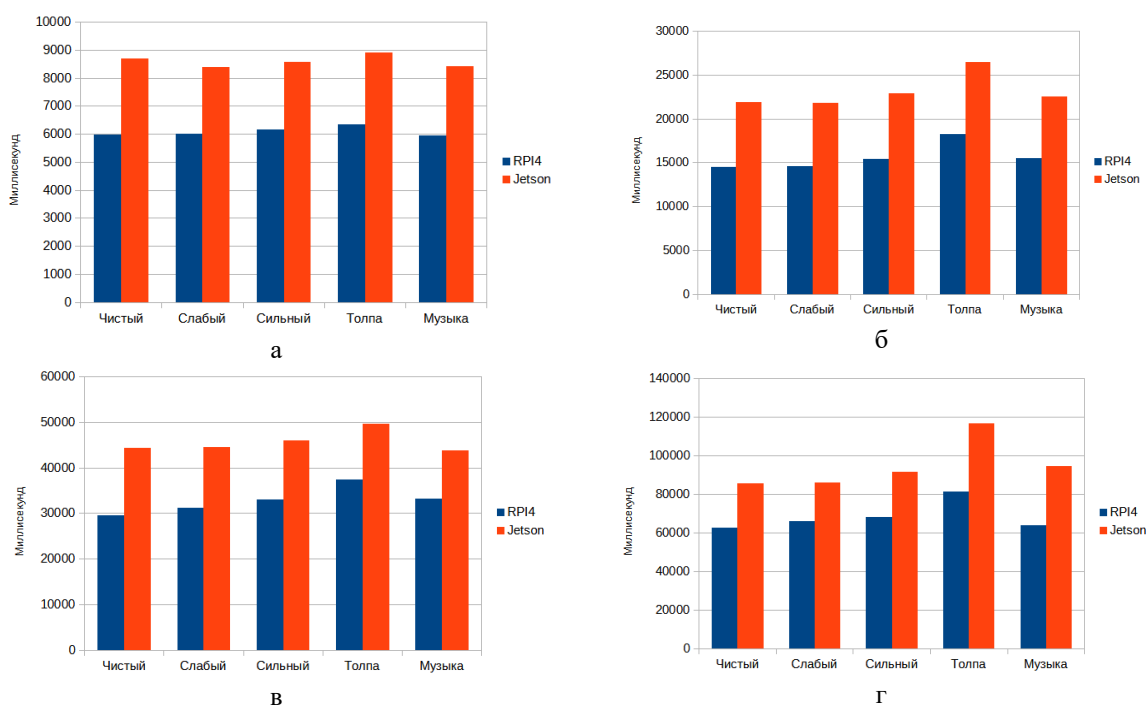


Рисунок 6 – Гистограмма показателей производительности одноплатных компьютеров для библиотеки Vosk с большой моделью, а – аудио-семпл 5 секунд, б – аудио-семпл 15 секунд, в – аудио-семпл 30 секунд, г – аудио-семпл 60 секунд

Также была проанализирована скорость загрузки моделей в оперативную память. Результат исследования приведен на рисунке 7.

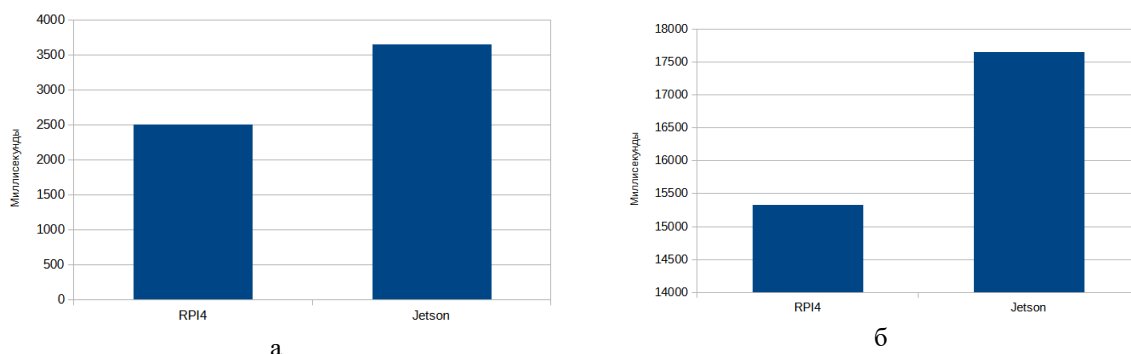


Рисунок 7 – Гистограмма показателей скорости загрузки моделей в оперативную память для библиотеки Vosk, а – маленькая модель, б – большая модель

Далее приведены результаты исследования точности распознавания речи с применением алгоритма WER (таблицы 1-3 для маленькой и таблицы 4-6 для большой моделей). Точность распознавания речи на пятисекундных аудио-семплах достаточно высока во всех случаях из-за чего WER равен 0.

Таблица 1 – Показатель WER на пятнадцатисекундных аудио-семплах для маленькой модели

	Чистый(%)	Слабый(%)	Сильный(%)	Толпа(%)	Музыка(%)
Raspberry Pi 4	9	9	15	30	9
NVIDIA Jetson Nano	9	9	15	30	9

Таблица 2 – Показатель WER на тридцатисекундных аудио-семплах для маленькой модели

	Чистый(%)	Слабый(%)	Сильный(%)	Толпа(%)	Музыка(%)
Raspberry Pi 4	13	13	22	47	26
NVIDIA Jetson Nano	13	13	22	47	26

Таблица 3 – Показатель WER на шестидесятисекундных аудио-семплах для маленькой модели

	Чистый(%)	Слабый(%)	Сильный(%)	Толпа(%)	Музыка(%)
Raspberry Pi 4	20	23	29	57	30
NVIDIA Jetson Nano	20	23	29	57	30

Таблица 4 – Показатель WER на пятнадцатисекундных аудио-семплах для большой модели

	Чистый(%)	Слабый(%)	Сильный(%)	Толпа(%)	Музыка(%)
Raspberry Pi 4	6	3	9	18	6
NVIDIA Jetson Nano	6	3	9	18	6

Таблица 5 – Показатель WER на тридцатисекундных аудио-семплах для большой модели

	Чистый(%)	Слабый(%)	Сильный(%)	Толпа(%)	Музыка(%)
Raspberry Pi 4	12	15	17	28	17
NVIDIA Jetson Nano	12	15	17	29	17

Таблица 6 – Показатель WER на шестидесятисекундных аудио-семплах для большой модели

	Чистый(%)	Слабый(%)	Сильный(%)	Толпа(%)	Музыка(%)
Raspberry Pi 4	11	13	21	42	19
NVIDIA Jetson Nano	11	13	21	43	19

В ходе исследования библиотеки Whisper были получены отрицательные результаты, так как на Raspberry Pi 4 распознавание шло намного дольше, чем сам аудио-семпл, что не позволяет использовать Whisper в качестве библиотеки для распознавания речи на микропроцессорной системе. Для аудио-семпла 5 секунд среднее время загрузки модели составило 650 мс, среднее время распознавания – 142502 мс, WER – 62,5 %.

Исследование производительности и точности работы библиотеки для распознавания речи на одноплатных компьютерах показало ее успешное практическое применение во многих областях. Благодаря своей высокой эффективности и точности, эта технология может применяться в различных приложениях, улучшая удобство использования и повышая эффективность работы.

Заключение

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, что при использовании библиотеки Vosk на Raspberry Pi 4 лучше загружает маленькую модель на 40% но медленнее распознаёт речь из аудио семпла, примерно, на 115% при работе с пятисекундными семплами, на 69% при работе с пятнадцатисекундными семплами, на 47% при работе с тридцатисекундными семплами и на 37% при работе с шестидесятисекундными семплами в сравнении с Nvidia Jetson Nano. В то же время, при работе с большой моделью Raspberry Pi 4 быстрее загружает модель на 12% и быстрее распознаёт речь, примерно, на 30% при работе с пятисекундными семплами, на 33% при работе с пятнадцатисекундными семплами, на 29% при работе с тридцатисекундными семплами и на 28% при работе с шестидесятисекундными семплами в сравнении с Nvidia Jetson Nano.

Библиотека Whisper в данном случае не подходит для использования на данных платформах и в данной реализации для задач распознавания речи

Литература

1. Турчин В.Н., Турчин Е.В. «Марковские цепи. Основные понятия, примеры, задачи» - Днепропетровск: ЛизуновПресс, 2021г. – 192 с.
2. Хайкин Саймон, Нейронные сети. Полный курс – Вильямс, 2019г. – 1104 с.
3. Тампель И.Б., Карпов А.А. Автоматическое распознавание речи. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 138 с.
4. Vishniakou, V. A. Implementation of the internet of things network for monitoring audio information on a microprocessor and controller / V. A. Vishniakou, B. H. Shaya // Системный анализ и прикладная информатика. – 2022. – No. 1. – P. 34-38. – DOI 10.21122/2309-4923-2022-1-34-38. – EDN HTZTIK.
5. Ермолаев В.А., Кропотов Ю.А., Бейлекчи Д.В. Обработка акустических сигналов методами локального анализа в телекоммуникационных системах / В.А. Ермолаев, Ю.А. Кропотов, Д.В. Бейлекчи // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2015. – № 1 (17). – С. 49-56.
6. Kropotov Yu.A. Mathematical models of telecommunication systems with acoustic feedback / Yu.A. Kropotov, A.A. Belov, A.Y. Proskuryakov, A.A. Kolpakov // 2019 International Multi-conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FAREASTCON 2019. – 2019. – pp. 8934203.
7. Кропотов Ю.А., Бейлекчи Д.В., Белов А.А., Ермолаев В.А., Карасев О.Е., Колпаков А.А., Коноплев А.Н., Проскуряков А.Ю. Информационно - управляющие телекоммуникационные системы аудиообмена и автоматизированного мониторинга // Радиотехнические и телекоммуникационные системы – 2014. – № 1 (13). – С. 99-113.
8. Взаимодействие с устройствами интернета вещей с использованием голосового интерфейса / В. Н. Шматов, П. Бонковски, Д. С. Медведев [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 714-721. – DOI 10.17586/2226-1494-2019-19-4-714-721. – EDN UWCQUZ.

ОПТОВОЛОКОННЫЙ ЭРБИЕВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМ КАБЕЛЬНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Аминев Д.А., Бунина Л.В., Коротких А.В.
МИРЭА – Российский технологический университет

Рассмотрена технология усиления оптического сигнала с использованием волокна, легированного ионами эрбия и особенности её применения в системах кабельного телевидения. Раскрыты варианты размещения усилителя в приёмно-передающем тракте и принцип распределения оптической мощности. На основе технических особенностей аналогичного усилителя компании GT Lasers, исходных функциональной схемы и подобранной доступной элементной базы разработаны принципиальная электрическая схема и предложено конструктивное решение для печатного узла коммутатора и корпуса усилителя. Представлены трёхмерные изображения конструкций печатного узла в корпусе.

Ключевые слова: кабельное телевидение, оптическая коммутация, телекоммуникации, печатный узел, усиление сигнала, конструкторское проектирование.

Fiber optic erbium amplifier for cable TV systems. Aminev D.A., Bunina L.V., Korotkikh A.V. MIREA – Russian Technological University.

The technology of optical signal amplification using fiber doped with erbium ions and the features of its application in cable television systems are considered. Options for placing the amplifier in the receiving and transmitting path and the principle of optical power distribution are disclosed. Based on the technical features of

a similar amplifier from GT Lasers, the original functional diagram and the selected available element base, a basic electrical circuit has been developed and a design solution for the printed circuit board of the switch and the amplifier housing has been proposed. Three-dimensional images of the printed circuit board designs in the housing are presented.

Keywords: cable television, optical switching, telecommunications, printed circuit board, signal amplification, design engineering.

Введение

Ещё пару десятилетий назад местные кабельные операторы телевизионного вещания получали сигнал от многоканальной системы оператора (MSO) через коаксиальные кабели. Затем местные операторы стали использовать электронные усилители для передачи сигнала на большие расстояния. Создавалась очень сложная система распределения кабельного телевидения, причём из-за использования коаксиального кабеля, даже такого дорогостоящего как RG6, вероятность помех была значительно выше, чем у простого оптоволоконного кабеля, поскольку затухание сигнала в оптоволокне крайне низкое. В настоящее время оптоволоконное решение значительно дешевле и надежнее качественного коаксиального кабеля. Однако, при передаче на дальние расстояния (более десятков километров), в системе распределения кабельного телевизионного вещания также необходимо использовать усилители (EDFA на рис. 1а) [1].

Оптоволоконные эрбиевые усилители (EDFA) работают за счет свойств ионов эрбия, внедренных в оптические волокна. Когда оптический сигнал проходит через волокно, легированное эрбием, ионы возбуждаются и испускают фотоны с той же длиной волны, что и входящий сигнал, эффективно усиливая его. Этот процесс происходит без преобразования оптического сигнала в электрическую форму, сохраняя его точность и целостность на протяжении всей передачи [2, 3].

EDFA бывают разных типов (рис. 1б): бустеры, предусилители, линейные усилители. Усилители мощности (бустеры) устанавливаются непосредственно после лазерных передатчиков и предназначены для дополнительного усиления сигнала до уровня, который не может быть достигнут от лазерного диода. Предварительные усилители используются непосредственно перед приёмником и способствуют увеличению отношения сигнал/шум на выходе электронного каскада усиления в оптоэлектронном приёмнике. Линейные усилители устанавливаются в промежуточных точках протяженных линий связи между регенераторами или на выходе оптических разветвителей.

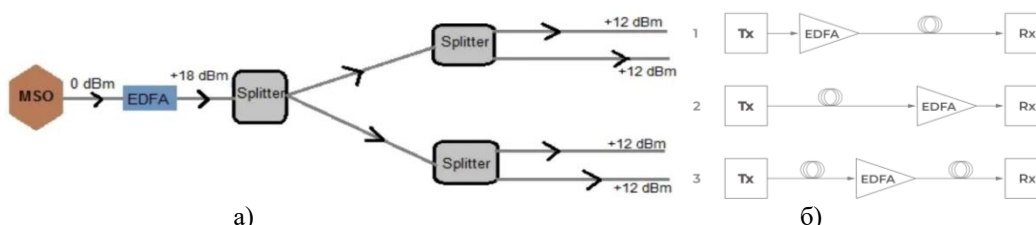


Рисунок 1 – Распределение оптической мощности +18 дБм с использованием разветвителей 50 на 50 (а) и размещение усилителя в приёмно-передающем тракте (б)

В системе кабельного телевидения [4] EDFA работает на длине волны 1550 нм и получает на оптический вход 0 дБм. Существует множество типов EDFA, которые обеспечивают различные уровни оптического выхода. На схеме на рис. 1а распределения оптической мощности с использованием EDFA, MSO подает оптический вход 0 дБм на EDFA, который выдает +18 дБм оптической мощности на выходе. Таким образом, имеется 4 точки на выходе с +12 дБм, то есть подача 0 дБм обеспечивает четыре магистрали +12 дБм, что вполне достаточно для системы кабельного телевидения. Если потребуется 8 точек, то мощность будет +9 дБм на точку. Подавать более +13 дБм мощности на обычном волокне невозможно, но по волокну с компенсацией методом вынужденного рассеяния Манделъштама-Бриллюэна может быть передано +17 дБм мощности.

Применение EDFA в системе кабельного телевидения

Усилители EDFA являются протоколнезависимыми устройствами, что позволяет организовывать каналы с различными протоколами передачи данных [5]. Также EDFA увеличивают уровень мощности несущих волн в диапазоне и работают как с цифровыми, так и с аналоговыми сигналами, которые используются в сетях кабельного телевидения. Схема применения EDFA в сети телевизионного вещания CATV показана на рис. 2.

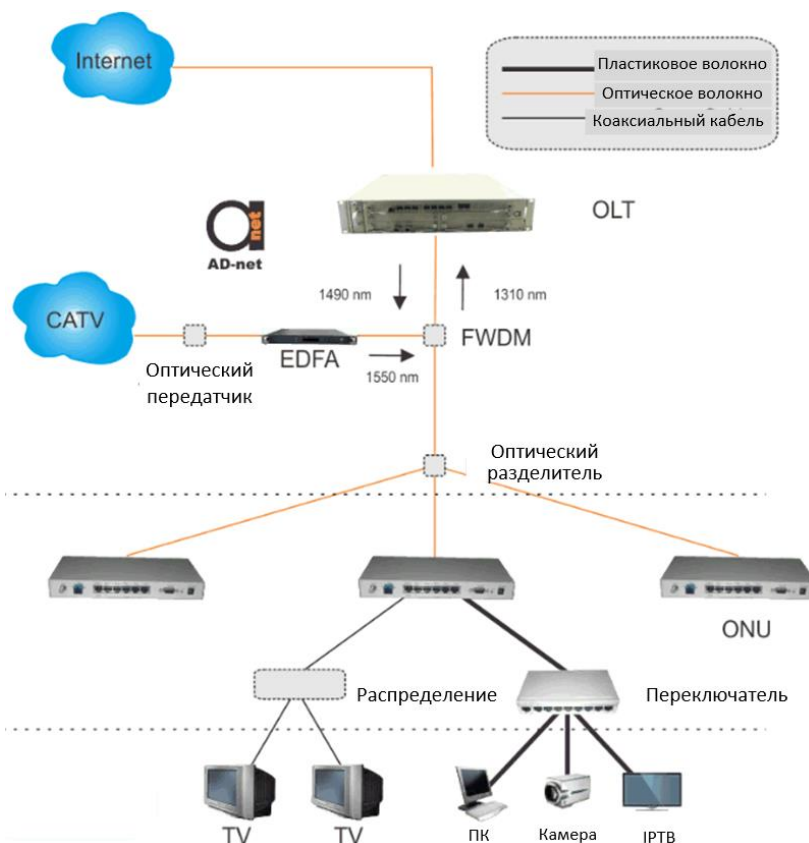


Рисунок 2 – Схема применения EDFA в сети телевизионного вещания

Оптические усилители, применяемые в CATV сетях, схожи по принципу с усилителями, используемыми в сетях с синхронной цифровой иерархией. Спектральная ширина полосы усиления в CATV EDFA составляет всего ≈ 20 нм в диапазоне 1540-1560 нм. Такая ширина спектра усиления в CATV усилителях обусловлена спектром 1550 ± 5 нм передаваемого сигнала. Другим важным отличием оптических усилителей для CATV является выходная мощность, которая может достигать 41 дБм, в то время как плотное WDM EDFA ограничиваются выходной мощностью в 24 дБм. Так же специфическая архитектура CATV EDFA усилителей может включать в себя оптические делители на выходном порту и широкополосные WDM фильтры.

Волоконно-оптические эрбиевые усилители для систем кабельного телевидения выпускает ряд известных компаний: GTLasers, AD-Net, Television Technologies, Hangzhou Guangfu Technology Co., Ltd., Prevail, Luxglo, Fiber Labs, Технологии бесконечности [6] и др. Наиболее широкий ассортимент встраиваемых полнофункциональных EDFA с электронной схемой управления для CATV предлагает компания GTLasers [7].

Исходные данные для разработки конструкции EDFA

В качестве исходных данных рассмотрим спецификацию популярной модели EATV5400D-FM05 компании GTLasers [8]. Полнофункциональный EATV5400D-FM05 использует предусилитель с маломощным EDFA и выходной каскад с высокомоушным EYDFA (эрбиевый иттербиевый волоконный усилитель). Общая выходная мощность EATV5400D-FM05 регулируется на 27 ~ 37 дБм, а выходных оптических портов ≥ 4 дБм. Функциональная схема усилителя представлена на рис. 3.

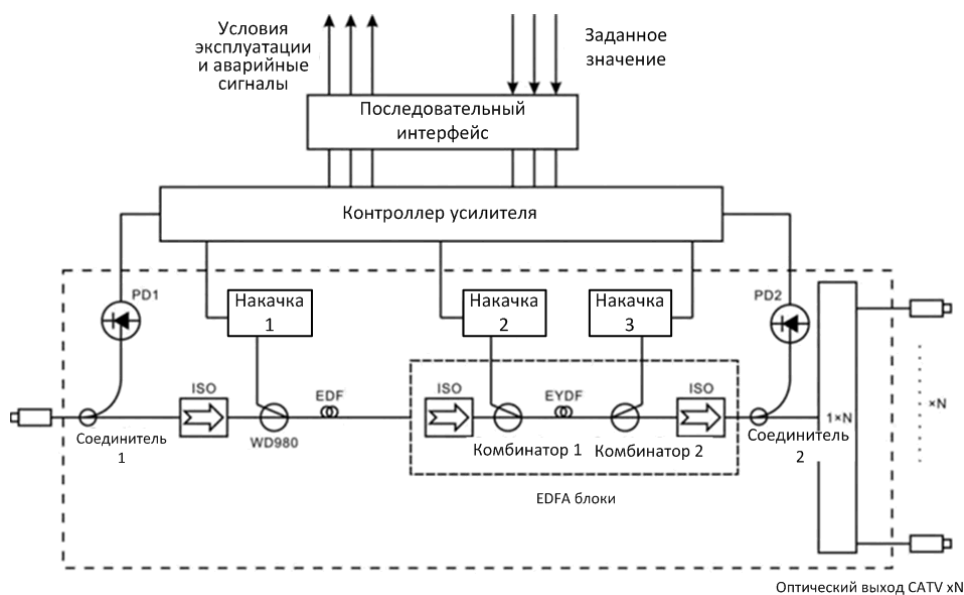


Рисунок 3 – Функциональная схема EATV5400D

Электронная схема управления усилителя обеспечивает режимы автоматической регулировки тока и мощности, низкий коэффициент шума (типовое значение $\leq 4,5$ дБ, максимальное значение $\leq 5,0$ дБ при входе = 0 дБм). Внешний вид и габаритный чертёж (размеры указаны в мм) конструкции EATV5400D представлены на рис. 4, а назначение контактов электрического разъёма – в табл. 1.

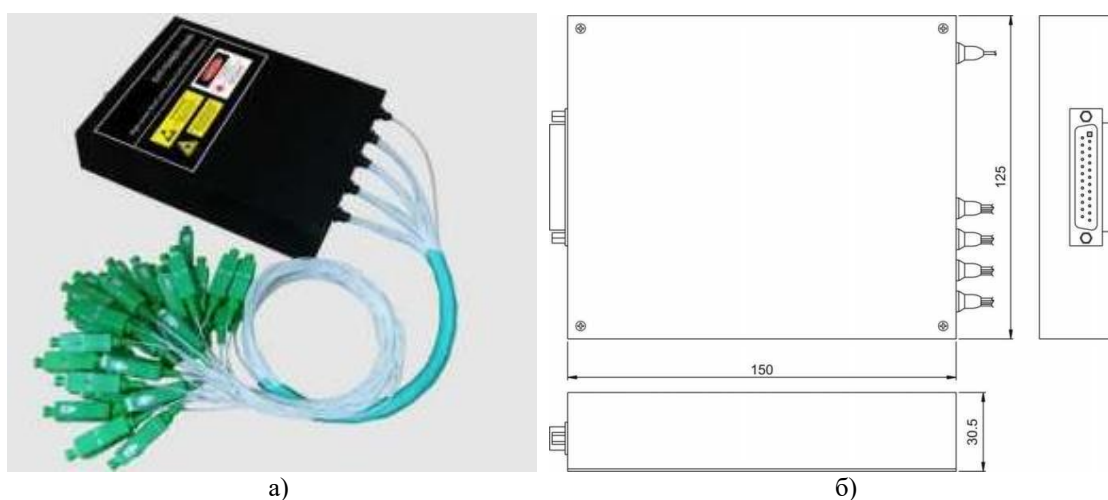


Рисунок 4 – Внешний вид (а) и габаритный чертёж (б) конструкции EATV5400D.

Таблица 1 – Назначение контактов электрического разъёма EATV5400D-FM05

№	Определение	№	Определение
1-4, 12, 24	VCC +5B	13-17,25	GND
5, 6, 11, 20,23			
7 (ТТЛ)	Сигнализация температуры EDFA	18 (ТТЛ)	Выход RS232 TXD
8 (ТТЛ)	Аварийный сигнал вых. мощности	19	Аварийный сигнал вх. мощности
9 (ТТЛ)	Аварийный сигнал тока смещения накачки	21	Вход истечения срока действия усилителя
10 (ТТЛ)	Сигнализация температуры накачки	22 (ТТЛ)	RS232 в RXD

Выбор элементной базы и разработка электрической принципиальной схемы

Чтобы разработать аналог EATV5400D-FM05 следует подобрать оптические (2 комбайнера, 3 изолятора, 3 соединителя, 1 ответвитель, ячейку EYDF, коннекторы), электрические (микроконтроллер и обвязка), и электронно-оптические компоненты (2 фотодиода, 3 лазера накачки, излучающий диод). Затем, разработать электрическую принципиальную схему и конструкцию печатного узла и корпуса [19]. Чтобы

обеспечить высокую надежность и длительный срок службы модуля рекомендуется установить на него радиатор или принудительное воздушное охлаждение.

Схема электрическая принципиальная, разработанная по функциональной схеме аналога и с учётом выбранной доступной элементной базы (табл. 1), представлена на рис. 5.

Таблица 1 – Перечень элементной базы для усилителя

Компонент	Обозначение на схеме	Кол-во
GRM188R61A105K 1 мкФ	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C9, C10, C12, C14, C16, C19, C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C31, C33, C34, C35, C37, C43, C44, C45, C46, C47, C48, C49, C50, C52, C54, C55, C56, C58	39
GRM1885C1H102J 1000 пФ	C20, C38, C59	3
GRM1885C1H2R0C 2 пФ	C13, C30, C51	3
GRM188R61C106KAALD 10 мкФ	C11, C15, C17, C18, C21, C36, C39, C40, C41, C42, C57, C60, C61, C62, C63	15
GRM1885C1H221J 220 пФ	C8, C32, C53	3
1948RxM	D8, D14, D20	3
SN74AHC244PWE4	D2, D3	2
AMC7820Y/250	D4, D10, D16	3
OP97FPZ	D7, D13, D19	3
AD8129ARM	D6, D11, D17	3
AD8542ARZ	D1, D9, D15	3
DRV591VFP	D5, D12, D18	3
SML-D12U1WT86	HL1, HL2, HL3, HL4, HL5, HL6, HL7, HL8, HL9, HL10, HL11	11
CMM-2718AT-42308-TR	J1, J2, J3	3
ДМГЗ 100 мкГн	L2, L3, L5, L6, L8, L9	6
VLCF5028T-100M1R0-2 10 мкГн	L1, L4, L7	3
RC1210JR-074K7L 4.7 кОм	R1	1
ERJ14YJ391U 390 Ом	R3, R6, R11, R37, R64	5
RC1210JR-07100KL 100 кОм	R8, R32, R59	3
RC1210JR-071ML 1 МоМ	R9, R35, R62	3
RK73H1ETTP4022F 40.2 кОм	R13, R20, R25, R38, R43, R50, R65, R70, R77	9
RC1210JR-0710KL 10 кОм	R4, R16, R17, R22, R24, R27, R33, R40, R41, R45, R48, R54, R60, R67, R68, R72, R75, R81	18
RC1210JR-072K4L 2.4 кОм	R23, R47, R74	3
RL1210FR-070R1L 0.1 Ом	R26, R52, R79	3
RK73H1JTTD8061F 8.06 кОм	R18, R21, R42, R44, R69, R71	6
RC1210FR-076R65L 6.65 кОм	R28, R30, R55, R57, R82, R84	6
RC1206FR-076K2L 6.2 кОм	R14, R39, R66	3
ERJ-8ENF4023V 402 кОм	R29, R56, R83	3
RC1210JR-0768KL 768 кОм	R5, R34, R61	3
AC1210FR-073K24L 3.24 кОм	R7, R36, R63	3
RC1210FR-07432KL 432 кОм	R2, R31, R58	3
AC1210JR-07120KL 120 кОм	R10, R12, R46, R49, R73, R76	6
RC1210FR-071KL 1 кОм	R15, R19, R51, R53, R78, R80	6
S5AC-K	VD1, VD3, VD5	3
BAT54S	VD2, VD4, VD6	3
DRB-25MB	X1	1

Схема электрическая принципиальная содержит три модуля D1 накачки 980 нм (выбран DCU96 компании II-VI), аналого-цифровые преобразователи DD1, фотодиоды DD3-4, цифро-аналоговые преобразователи DD5-6, систему на кристалле DD2, 25-контактный коннектор X1, 3-контактный коннектор X2. Напряжение питания поступает через X1, DD1 преобразует сигнал и передает его на систему на кристалле DD2. Величина напряжения и тока задается через установку определённой разности потенциалов в цепях обратной связи стабилизаторов с помощью ЦАП. Цифро-аналоговые преобразователи используются для подключения фотодиодов контроля DD3-4 к системе на кристалле DD2 через микросхемы АЦП. Микросхемы АЦП и ЦАП подключаются к системе на кристалле по протоколу

I2C, что позволяет программно управлять питанием модулей накачки и получать данные контроля. На входах АЦП и в цепи питания системы на кристалле предусмотрены фильтрующие конденсаторы. Система на кристалле DD2 содержит в себе микропроцессор, который отвечает за контроль показателей и коммуникации с внешней управляющей платой. Управляющие данные поступают в схему через X1 в систему на кристалле. Контрольные данные и сигнализация передаются от микропроцессора в X1 для дальнейшей обработки сопряженной платой.

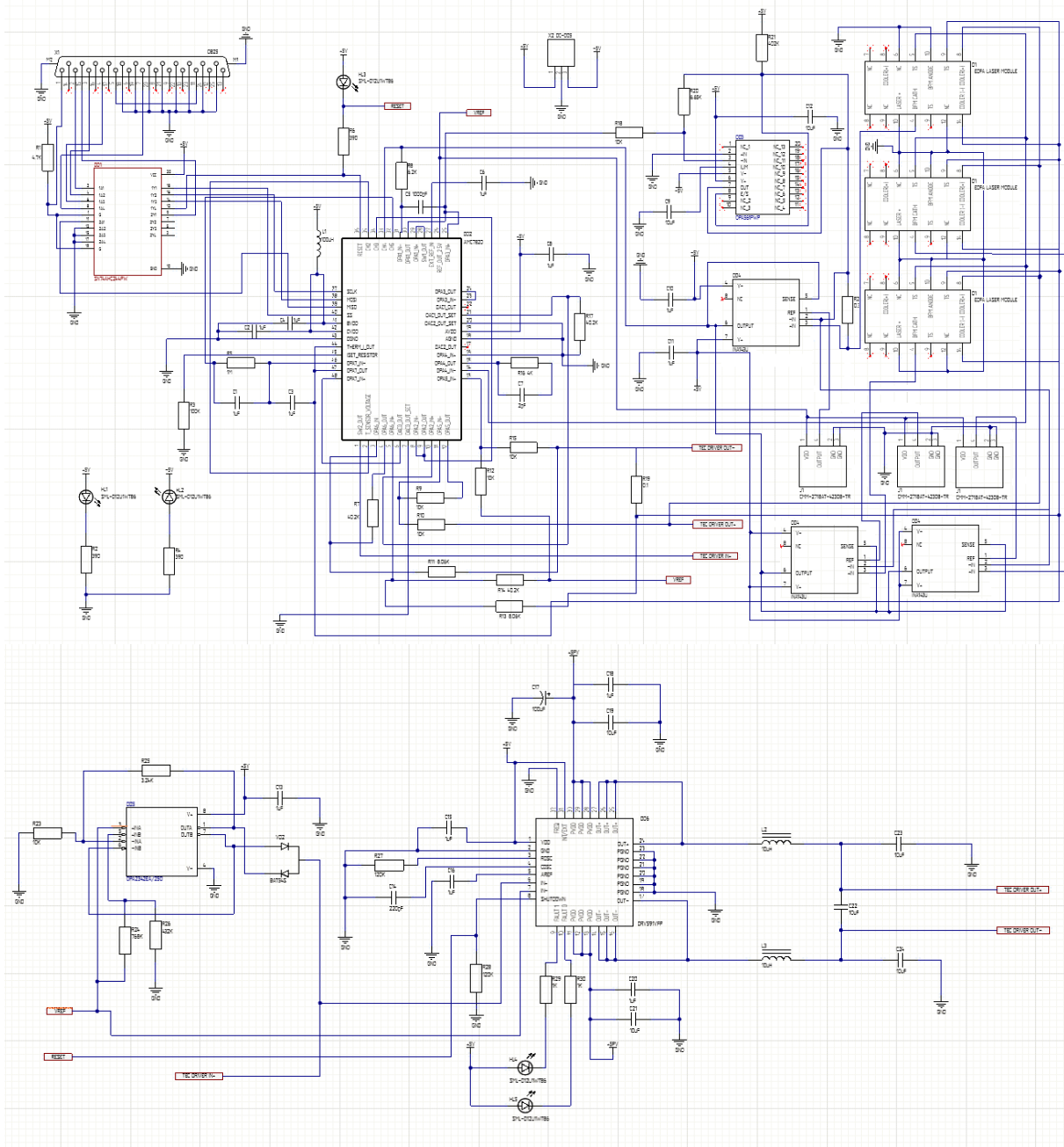


Рисунок 5 – Электрическая принципиальная схема усилителя

Проектирование печатного узла и конструкции корпуса

В соответствии с электрической принципиальной схемой и выбранными компонентами были спроектированы печатная плата, печатный узел (рис. 6) и конструкция корпуса (рис. 7) усилителя. Трассировка печатной платы на разрабатываемое устройство выполнена в САПР Altium Designer по 3 классу точности согласно ГОСТ Р 53429-2009. Сигнальные цепи проложены толщиной 0,25 мм. Цепи питания и зацепления толщиной 0,3 мм. Диаметр переходных отверстий печатной платы 0,7 мм.

Все компоненты печатного узла монтируются поверхностным монтажом, кроме разъёмов X1 и X2, которые необходимы для подачи питания и подключения к компьютеру, на двустороннюю печатную плату размерами 125x80 мм из материала FR4, толщиной 1,5 мм.

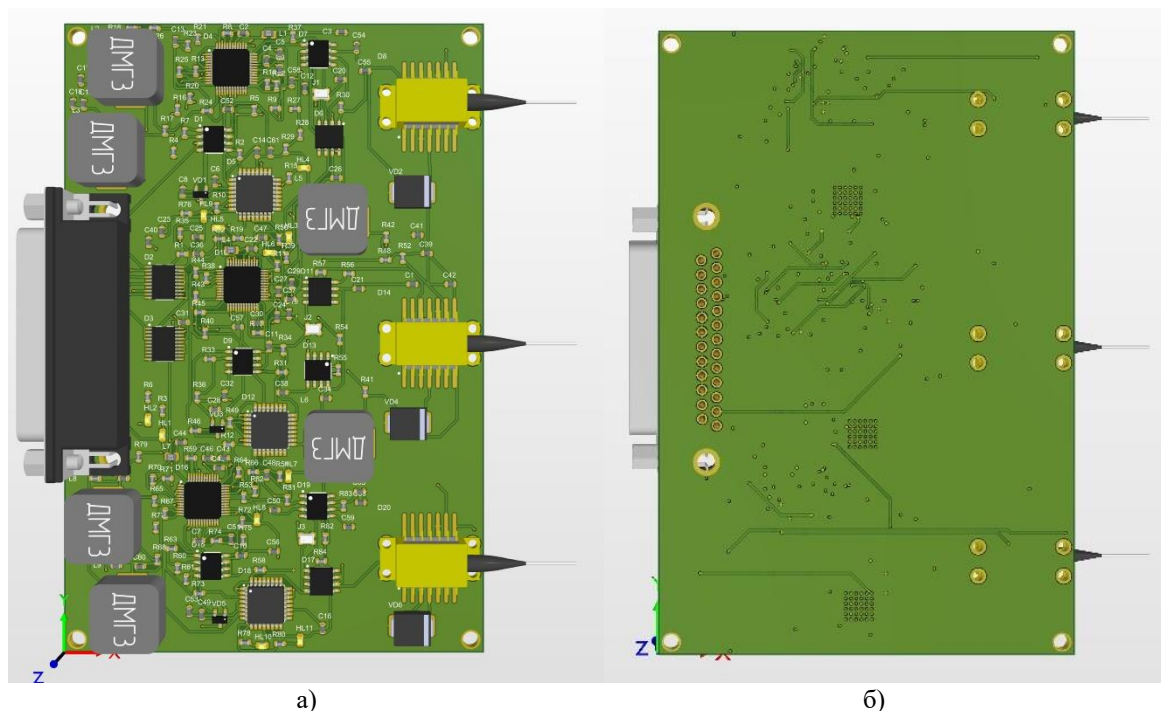


Рисунок 6 – Печатный узел усилителя: вид сверху (а), вид снизу (б)

Корпус размерами 125x150x30,5 мм для волоконно-оптического усилителя был спроектирован в САПР Компас 3D. При разработке корпуса учитывались вырезы для соединителей, а также наличие дополнительного места для оптических элементов, таких как эрбиевое волокно и оптические кабели. В качестве крепежа печатной платы к корпусу, а также крышки и использовались болты длиной 20 мм и диаметром 3 мм (ГОСТ 7805-70).

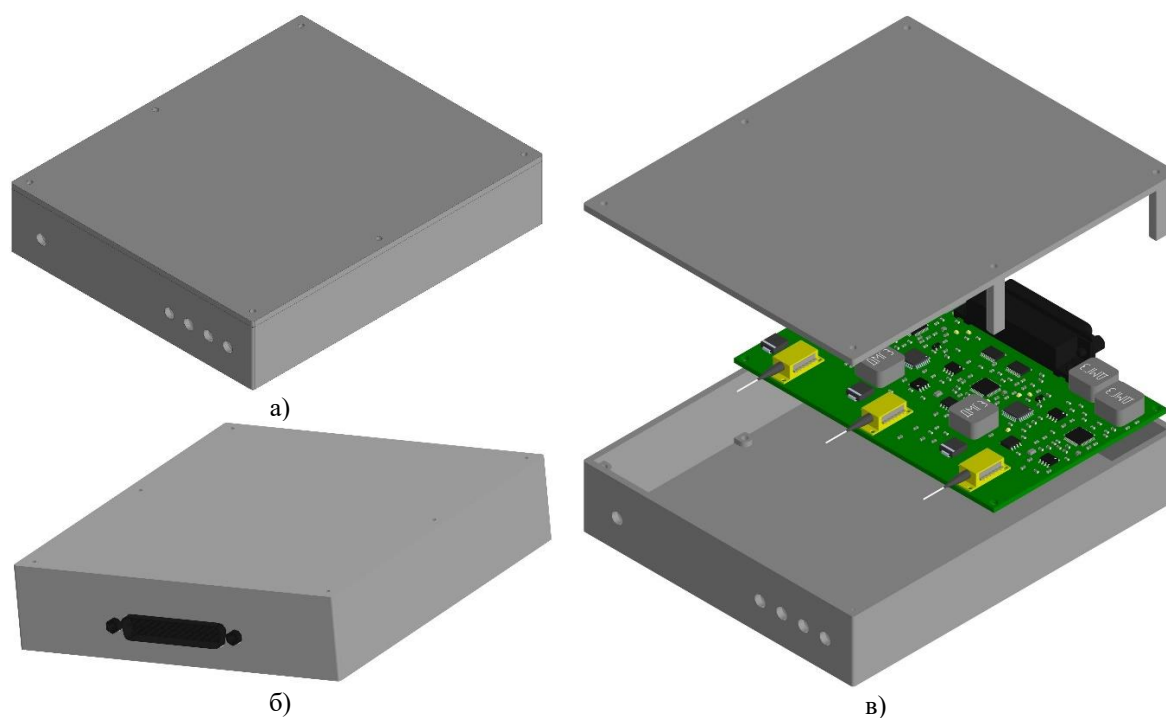


Рисунок 7 – Трёхмерные изображения корпуса сзади (а) и спереди (б), с печатным узлом в сборке (в)

Заключение

Проведённый анализ архитектур конструкций и характеристик EDFA, использующих технологию передачи данных CATV, известных зарубежных и отечественных компаний-производителей, учитывающий габаритные параметры устройств, оптические и электрические характеристики, особенности конструктивного исполнения, позволил выявить распространённую модель компании GTLasers.

Разработанная по исходной функциональной схеме модели оптоволоконного эрбиевого усилителя для систем кабельного телевидения EATV5400D-FM05 компании GTLasers электрическая принципиальная схема опирается на перечень доступной элементной базы, и полностью реализует функционал и характеристики аналога.

Спроектированные в САПР Altium Designer печатный узел и в САПР Компас 3D конструкция корпуса усилителя вероятно могут быть скорректированы после проведения дальнейших тепловых исследований, исследований на вибропрочность, электромагнитную совместимость и оценки надёжности. Такие исследования проводятся в САПР SolidWorks и АСОНИКА с заданием условий и режимов эксплуатации.

Литература

1. https://scatmag.com/uploads/techarticle_oct04.pdf –Техническая статья "Technology Update: EDFA for CATV networks" из журнала Satellite & Cable TV (SCAT), октябрь 2004. (Дата доступа: 30 июля 2024).
2. Листвин В. Н., Трещиков В. Н. Л 63 DWDM системы: научное издание. - М.: Издательский Дом «Наука», 2013. - 300 с. ISBN 978-5-9902333-6-2
3. <https://www.fiber-optical-networking.com/the-application-of-edfa.html> (Дата доступа: 30 июля 2024)
4. <https://headendinfo.com/edfa-pdf-fa-catv-cable-tv> – "EDFA, PDFFA, CATV, Cable TV" на сайте Headend Info. (Дата доступа: 30 июля 2024)
5. <https://szfibersystem.com/wp-content/uploads/2020/09/EDFA-FOR-FTTH.pdf> – Информационный лист "EDFA FOR FTTH" от SZ Fiber System. (Дата доступа: 30 июля 2024)
6. <https://t8.ru/> (Дата доступа: 30 июля 2024)
7. <https://www.gtlasers.com/products/edfa-module/> (Дата доступа: 30 июля 2024)
8. <https://www.gtlasers.com/products/ftth-b-edfa-eydfa/> – “Модули EYDFA высокой мощности CATV” на сайте GT Lasers. (Дата доступа: 30 июля 2024)

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МНОГОКОМПЛЕКСНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ЕЕ ДЕГРАДАЦИИ

Ашарина И.В.¹, Харьков В.П.²

¹ АО «НИИ «Субмикрон», ² НПО «НаукаСофт»
+7 (916) 705-85-51, asharinairina@mail.ru

Рассмотрена задача восстановления целевой работы в распределенной многокомплексной информационно-управляющей системе, возникающая в случае обнаружения неисправностей, каждая из которых последовательно выявлялась всеми исправными бортовыми компьютерами соответствующего комплекса по месту расположения и типу. В случае достижения принятого критического уровня деградации при возникновении в нем очередной неисправности система должна перейти в режим безопасного останова.

Ключевые слова: сброс- и отказоустойчивость системы, статическое резервирование, динамическое резервирование, группировка космических аппаратов, надежность.

Restoration of the targeted operation of a distributed multi-complex information management system at various levels of its degradation. ¹Asharina I.V., ²Khar'kov V.P., ¹Joint-Stock Company “Scientific Research Institute ‘Submicron’”, ²Scientific and Production Association “NaukaSoft”

The problem of restoring targeted operation in a distributed multi-complex information and control system is considered, which arises after the detection of malfunctions, each of which was consistently identified by all serviceable onboard computers of the corresponding complex at the place of occurrence and by type. When the accepted critical level of fault and fault tolerance is reached and the next malfunction occurs in it, the system must switch to a safe halt mode.

Keywords: system failure- and fault-tolerance, static redundancy, dynamic redundancy, spacecraft group, reliability.

Введение

Решается задача восстановления целевой работы при обнаружении и выявлении неисправностей в работе распределенной многокомплексной информационно-управляющей системы (РМИУС). Здесь под комплексом понимается подсистема РМИУС – совокупность компьютеров, топология которых обладает определенными свойствами [1,2].

При обнаружении проявлений неисправностей и их идентификации как сбоя или программный сбой необходимо восстановить целевой вычислительный процесс. В случае более серьезных неисправностей, идентифицированных как отказы, при наличии резерва выполняется процесс реконфигурации или структурной деградации РМИУС. В случае отказа и отсутствия резервных элементов происходит функциональная деградация РМИУС, т.е. переход на целевую работу с пониженным уровнем сбое- и отказоустойчивости. В этом случае функциональные возможности РМИУС уменьшаются за счет исключения наименее важных целевых задач. Комплексы таких задач расформируются, а входящие в их состав бортовые цифровые вычислительные машины (БЦВМ) выводятся в резерв. При достижении критического уровня деградации, система переходит в состояние безопасного останова и ожидает инструкций от наземных служб, предусмотренных при проектировании РМИУС, с последующим их выполнением. Критический уровень деградации определяется соотношением допустимой кратности неисправностей и имеющихся резервных БЦВМ либо такими топологическими особенностями сети, когда невозможно выделить комплекс.

Восстановление целевой работы в РМИУС

Рассмотрим задачу восстановления целевой работы в РМИУС после обнаружения неисправностей в некотором целевом комплексе, наличие каждой из которых подтверждено всеми исправными БЦВМ соответствующего комплекса путем применения алгоритмов диагностики [3, 4]. Синхронность и последовательность выявления неисправностей предполагает, что все исправные БЦВМ комплекса одновременно, одинаково и правильно идентифицируют обнаруженные проявления неисправности.

Управляющим распределенным органом РМИУС является отказоустойчивый системный диспетчерский комплекс (СДК), который при получении многозадачного задания и выделяет совокупности комплексов и среды межкомплексного взаимодействия, обеспечивающие достоверность обмена информацией между комплексами. Каждый из комплексов решает целевую задачу методом репликации (целевые или задачные комплексы) [1,2].

При выявлении неисправности БЦВМ в некотором целевом комплексе сообщение о случившемся событии передается в СДК. При формировании РМИУС СДК получает информацию о структуре и текущем состоянии всех комплексов системы. Все последующие изменения этого состояния, полученные путем анализа процессов, происходящих в комплексах, и средах передачи информации также сохраняются в СДК. На основании сформированных на текущий момент данных СДК определяет временной период восстановления. Это время, на которое комплекс с обнаруженной неисправной БЦВМ выводится из процесса выполнения целевого задания. Все комплексы РМИУС получают от СДК соответствующие сообщения и алгоритмы их работы на время восстановления.

С началом периода восстановления все взаимодействующие комплексы задач выполняют действия, предписанные им СДК, а по окончании периода восстановления сообщают СДК о результатах этих действий (успешных либо неуспешных). СДК, получив эти сообщения, принимает решения о дальнейшей организации целевой работы либо о продолжении восстановительных действий [3,4].

Процесс восстановления начинается с того, что все исправные БЦВМ комплекса, обнаружившего неисправность, согласованно образуют восстановительный подкомплекс (ВПК), который начинает выполнять следующие процедуры.

Имеющиеся аппаратно-программные средства БЦВМ ВПК переводят неисправные БЦВМ этого комплекса в режим восстановления и блокируют их межмашинные каналы связи. Это выполняется для запрета вмешательства неисправных БЦВМ в работу любой исправной БЦВМ РМИУС.

В режиме восстановления неисправная БЦВМ ожидает получения от ВПК следующих команд, показанных на рис. 1.

После завершения процесса восстановления все БЦВМ из состава ВПК возвращаются к выполнению целевой задачи комплекса. Предварительно выполняется запуск восстановленной БЦВМ на выполнение целевой задачи комплекса. Это обеспечивается программой восстановления, размещенной в каждой БЦВМ. Кроме того, процедура восстановления предусматривает предварительную тестовую диагностику восстанавливаемой БЦВМ.

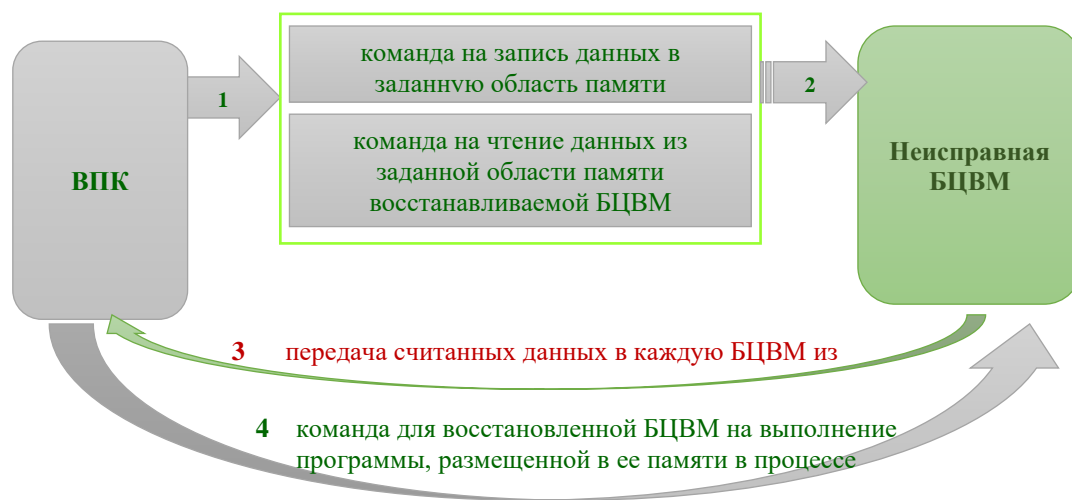


Рисунок 1 – Процесс восстановления неисправной БЦВМ

Проявления неисправностей БЦВМ, соответствующие принятому критерию отказа (обычно две неудачные попытки восстановления подряд), приводят к исключению ее из восстанавливаемого комплекса и из рабочей конфигурации РМИУС. В таком случае подключается резервная БЦВМ. Если эта подключенная БЦВМ находилась в горячем резерве, она максимально быстро втягивается в решение целевой задачи. Если подключенная БЦВМ находилась в холодном резерве, над ней выполняется приведенная выше процедура восстановления и она приступает к целевой работе в составе комплекса.

При отсутствии резервной БЦВМ восстанавливаемый комплекс по команде СДК переводится в целевой режим работы с пониженным уровнем сбое- и отказоустойчивости, если это возможно при заданной структуре комплекса. В противном случае происходит функциональная деградация РМИУС, при которой прекращается выполнение наименее важной задачи, комплекс которой продолжает выполнять задачу комплекса, восстановление которого не удалось выполнить, а исправные бортовые компьютеры этого комплекса становятся резервными.

Процесс самоуправяемой деградации по истечении определенного времени приводит РМИУС к достижению критического уровня деградации. Тогда при возникновении следующей неисправности РМИУС переходит в режим безопасного останова. В этом режиме СДК РМИУС сообщает об инциденте наземным службам и переходит в режим ожидания от них специальных команд управления [3,4].

Процесс восстановления целевой работы РМИУС, как и ее штатное функционирование, требует достаточной степени синхронизации и согласования во всех исправных БЦВМ РМИУС.

Схема алгоритма восстановления целевой работы РМИУС при различной степени ее деградации представлена на рисунке 2.

Временные диаграммы процессов восстановления в зависимости типа обнаруженной неисправности и степени деградации РМИУС приведены на рисунках 3 – 6.

В случае программного сбоя или отказа при наличии горячего резерва процесс восстановления/реконфигурации происходит быстро. В первом случае реконфигурация не требуется, т.к. неисправная БЦВМ приводится в рабочее состояние только программными методами. Во втором случае реконфигурация требует минимального времени, поскольку резервный бортовой компьютер уже встроен в структуру комплекса, а его работа в горячем резерве гарантирует, что в момент подключения он выполняет ту же целевую задачу, что и другие бортовые компьютеры в составе комплекса. Поэтому СДК дает команду на незначительное увеличение времени ожидания завершения целевого процесса, обозначенного на рисунках 3 – 6 как Time-out, и восстановленный комплекс успевает присоединиться к целевой работе в текущем рабочем цикле (рис. 3).

В случае выявления отказа БЦВМ при отсутствии горячего, но при наличии системного резерва, процесс реконфигурации комплекса занимает существенно больше времени, и СДК дает команду на продолжение работы только в следующем целевом цикле (рис. 4).

Такое взаимодействие верхнего структурного уровня СДК с нижележащим структурным уровнем целевых комплексов обеспечивает максимальную живучесть РМИУС при отсутствии обслуживания. Это достигается путем организации самоконтролируемой деградации РМИУС до критического уровня с последующим переходом в режим безопасного останова РМИУС и информированием об этом наземных служб.

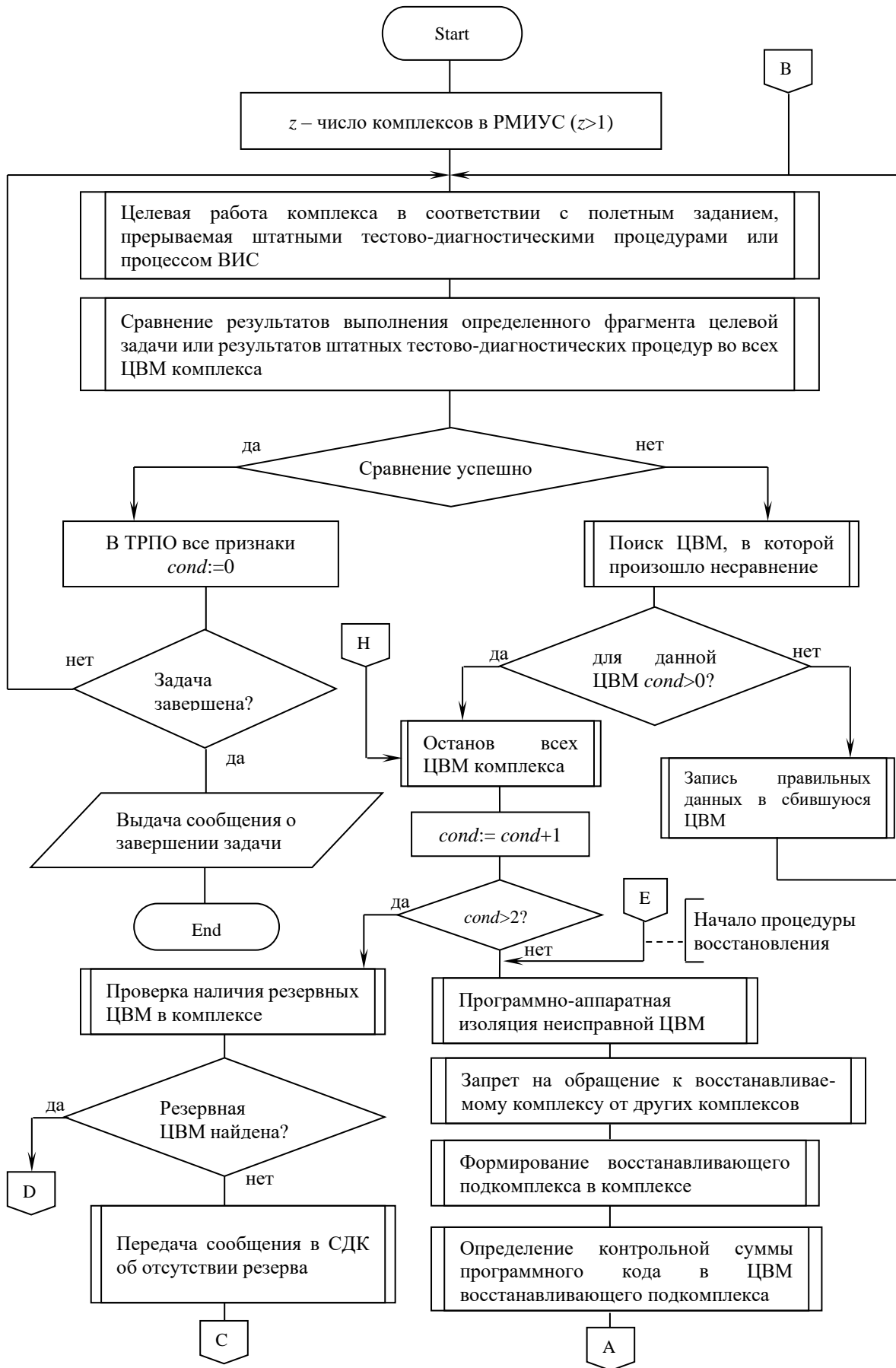


Рисунок 2 - Схема алгоритма восстановления при различной степени деградации РМИУС. Лист 1.

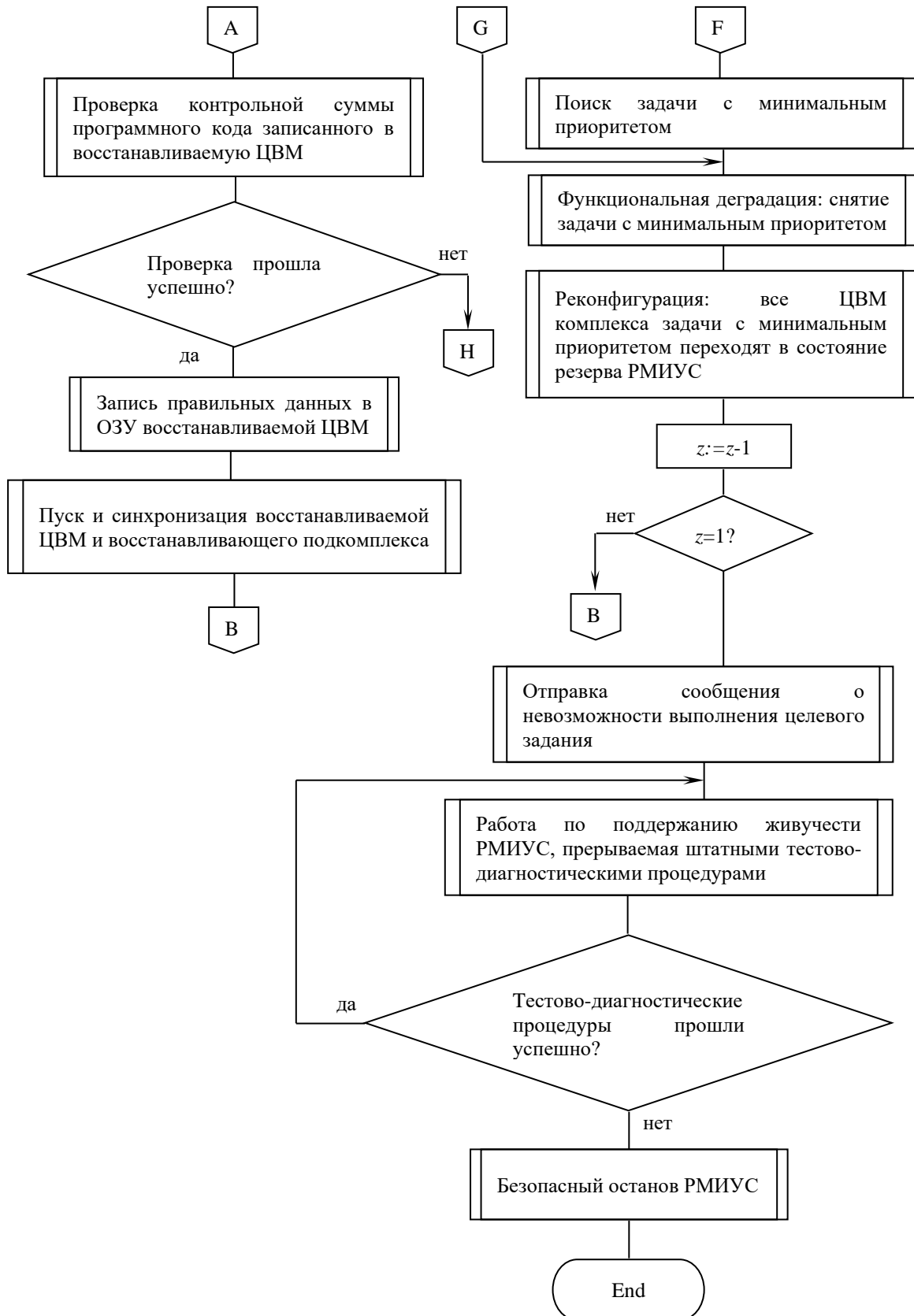


Рисунок 2 – Схема алгоритма восстановления при различной степени деградации РМИУС. Лист 2.

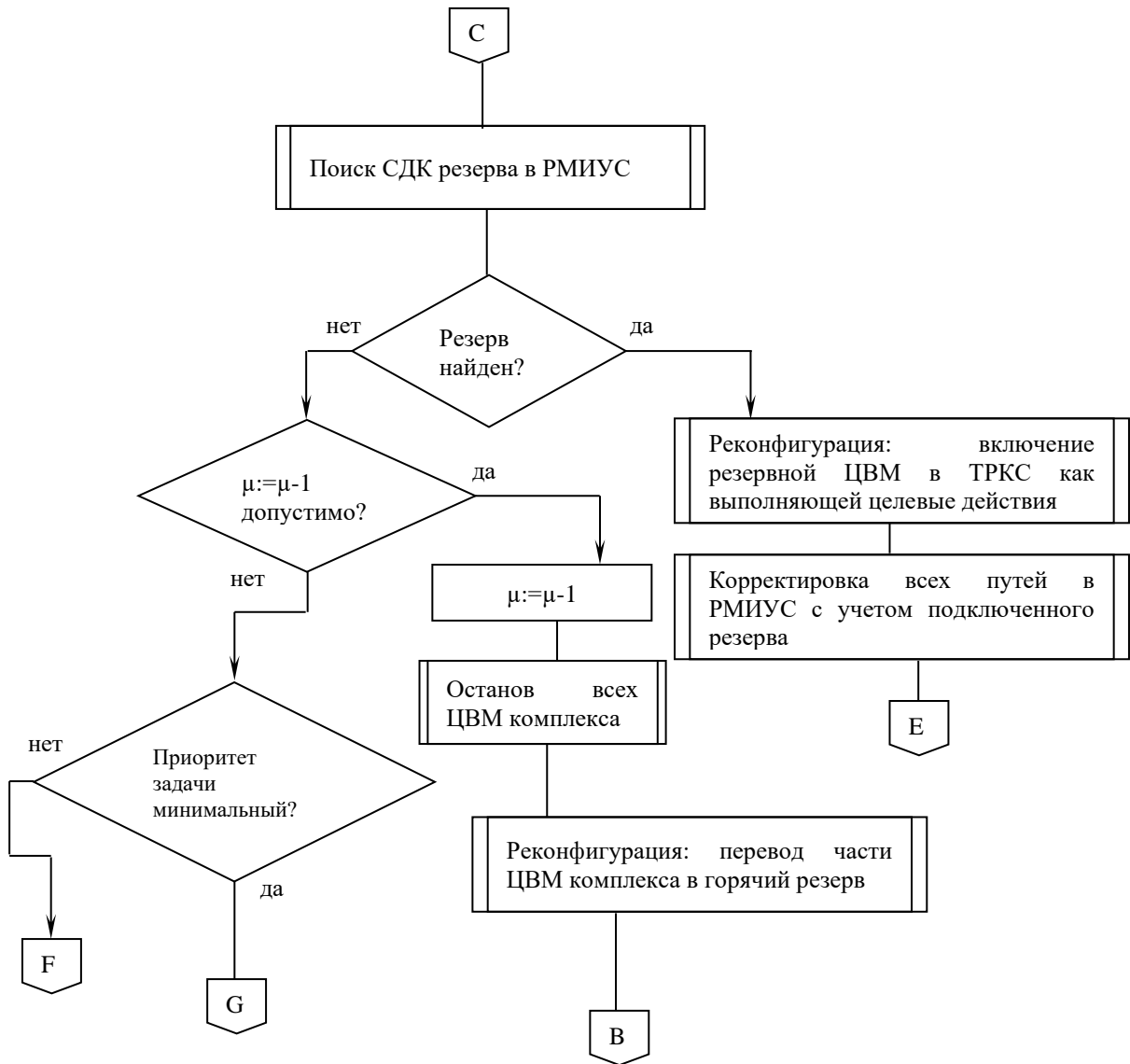


Рисунок 2 – Схема алгоритма восстановления при различной степени деградации РМИУС. Лист 3.

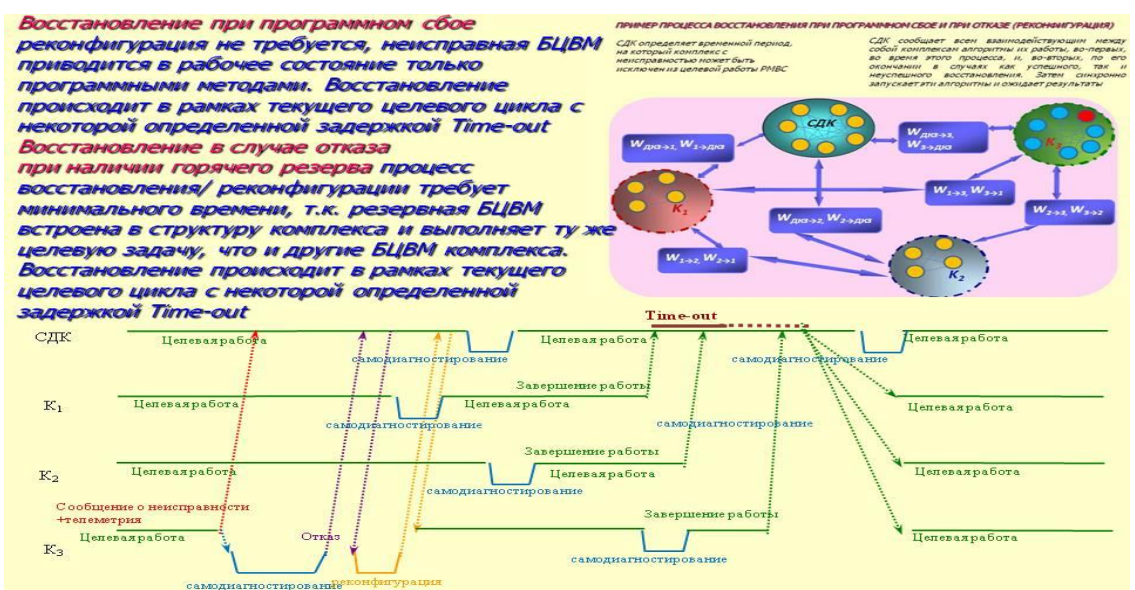


Рисунок 3 – Временная диаграмма процесса реконфигурации при программном сбое и при наличии горячего резерва



Рисунок 4 – Временная диаграмма процесса реконфигурации при отсутствии горячего, но при наличии резерва системы

Превышение количества ошибочных копий выходной информации комплекса над его степенью сбое- и отказоустойчивости в сочетании с невозможностью использования резерва считается отказом этого комплекса. Такая ситуация соответствует самоконтролируемой функциональной деградации и сопровождается реконфигурацией РМИУС, при которой от наименее значимой задачи отказываются, задачи перераспределяются между комплексами, а исправные бортовые компьютеры неисправного (отказавшего) комплекса переводятся в резервное состояние, как показано на рисунке 5.

При достижении критического уровня деградации и возникновении следующей неисправности, а также при возникновении совокупностей неисправностей, не предусмотренных моделью неисправности, часть системы или система в целом переходит в режим безопасного останова и ожидает инструкций от наземных служб (рис. 6).

Переход в состояние безопасного останова предполагает возможность повторного включения всех исправных БЦВМ с использованием внешнего сигнала «с Земли» как в момент первоначального включения с последующим повторным формированием РМИУС.



Рисунок 5 – Временная диаграмма процесса восстановления после сбоя (самоконтролируемая функциональная деградация)

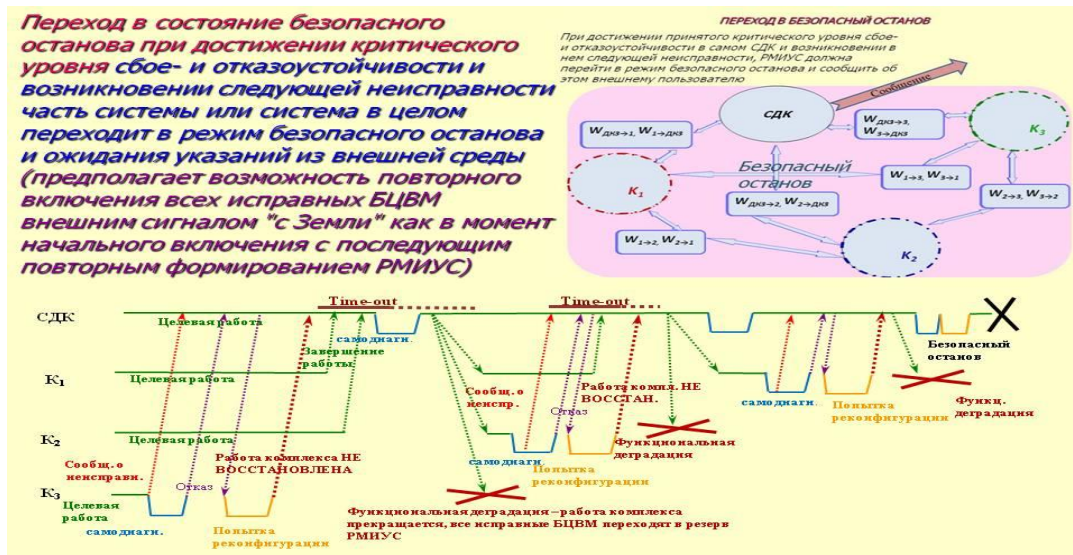


Рисунок 6 – Временная диаграмма процесса безопасного останова

Заключение

Разработанный алгоритм восстановления при различной степени деградации РМИУС направлен на увеличение траектории самоуправяемой деградации РМИУС, что, повышает ее срок активного существования. Однако возможность длительно сохранять работоспособность требует существенной аппаратной избыточности. Снижение этой избыточности при сохранении надежности РМИУС, а также принятых архитектурных, алгоритмических, аппаратных и программных решений является актуальным направлением дальнейших научных исследований [4].

Процесс самоуправяемой деградации РМИУС полностью определяется процессами структурной и функциональной деградации и переходом в состояние безопасного останова. Состояние безопасного останова характеризуется тем, что по команде с наземного пункта управления происходит начальное включение всех БЦВМ, запуск программы начального самодиагностирования, после чего при достаточной мощности группировки исправных БЦВМ возможно формирование новой РМИУС.

Литература

1. Ашарина И.В, Лобанов А.В. Выделение комплексов, обеспечивающих достаточные структурные условия системного взаимного информационного согласования в многокомплексных системах // "Автоматика и телемеханика", №6, 2014 г., стр. 115-131.
2. Ашарина И.В., Лобанов А.В. Выделение структурной среды системного взаимного информационного согласования в многокомплексных системах //Автоматика и телемеханика. 2014. № 8. С. 146-156.
3. Лобанов А.В., Ашарина И.В. Восстановление целевой работы в автоматической сбое- и отказоустойчивой многозадачной распределенной информационноуправляющей системе. Инженерный журнал: наука и инновации, 2019, вып. 7. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-7-1902>.
4. Лобанов А.В., Ашарина И.В. Унифицированный метод обеспечения сбое- и отказоустойчивости в распределенных автоматизированных цифровых системах управления специального назначения// Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 3. С. 89–99. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10272, ISSN 2409-5419.

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА КАЧЕСТВА ЖИДКОСТЕЙ

Бадеев В.А., Мурашкина Т.И., Дудоров Е.А.
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
+79603186310, timurashkina@mail.ru

Предлагается в системах мониторинга качества жидкостей систем жизнеобеспечения различного назначения использовать волоконно-оптические датчики, реализующие рефрактометрический принцип измерения коэффициентов преломления исследуемых жидкостей. Решена задача герметизации

оптической системы и емкости, через которую протекает жидкость на участке ввода/вывода жидкости от трубопровода системы жизнеобеспечения к оптической системе в зоне измерения датчика конструктивным путем.

Ключевые слова: герметизация, волоконно-оптический датчик, оптическая система, система жизнеобеспечения, качество жидкости

Sealing of the optical system fiber optic liquid quality sensor. Badeev V.A., Murashkina T.I., Dudorov E.A., Penza State University.

It is proposed to use fiber-optic sensors that implement the refractometric principle of measuring the refractive coefficients of the liquids under study in fluid quality monitoring systems for various purposes. The problem of sealing the optical system and the container through which the liquid flows in the section of fluid input/output from the pipeline of the life support system to the optical system in the sensor measurement area by design is solved.

Keywords: sealing, fiber-optic sensor, optical system, life support system, liquid quality

Введение

Системы жизнеобеспечения (СЖО) – важные элементы объектов, где живут или работают люди, обеспечивающие безопасные и комфортные условия жизнедеятельности. К основным составляющим таких систем относятся системы водоснабжения и водоотведения, качество функционирования которых проверяется автоматическими системами мониторинга. В состав системы мониторинга входит большое количество датчиков различных физических величин, которые фиксируют изменения в работе оборудования и передают соответствующую измерительную информацию о состоянии объекта на диспетчерский пункт в режиме реального времени. На основании полученных данных производится диагностика и выявление неисправностей.

Во всех СЖО необходимо измерять параметры жидкостных сред (рисунок 1) [1]. Соответственно, стоит задача диагностики качества различных типов жидкостей в СЖО.

Известен ряд рефрактометрических способов определения коэффициента преломления жидкости, общим недостатком которых является большое время измерения параметров, характеризующих качество жидкостей, и большие габаритные размеры и сложная аппаратная реализация средств измерения, реализующих известные эти способы измерения [2-6].

Авторами (в соавторстве) разработан рефрактометрический волоконно-оптический датчик качества жидкостей (ВОРДКЖ), у которого габаритные размеры в 2...3 раза меньше габаритных размеров аналогов, и реализующий более простой с точки зрения аппаратной реализации рефрактометрический способ измерения [7]. Скорость измерения параметров жидкости на порядок выше скорости известных рефрактометрических способов [8]. Ранее разработанная конструкция ВОРДКЖ содержит прозрачную цилиндрическую трубку - капилляр 1 с жидкостью 2 (рисунок 1).

Капилляр 1 с жидкостью 2 крепится в корпусе 3, в котором с некоторыми зазорами относительно нее расположены подводящее 4 и отводящие 5 и 6 оптические волокна. Конструкция негерметичная, поэтому любые климатические изменения окружающей среды (в первую очередь, температуры) приведут к возникновению конденсата в пространстве оптической системы датчика, который может исказить процесс прохождения оптического излучения через оптическую систему. Соответственно появятся дополнительные погрешности измерения показателя преломления жидкости и, соответственно, результаты измерения будут недостоверными.

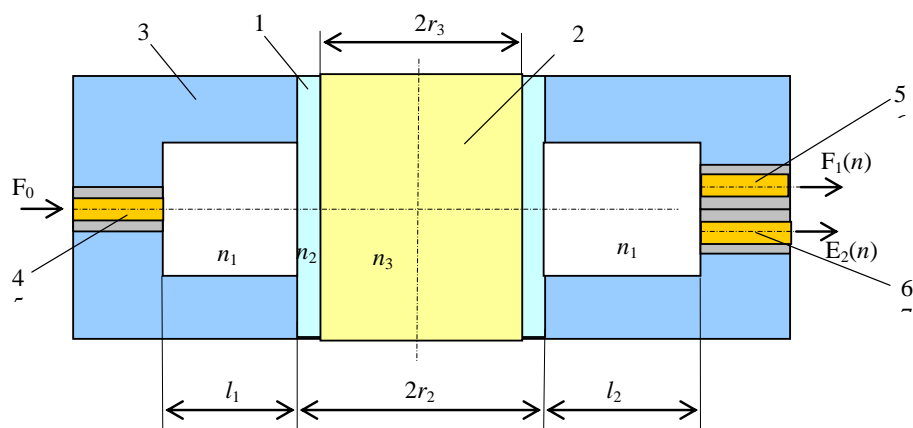


Рисунок 1 – Упрощенная конструкция волоконно-оптического датчика, реализующего рефрактометрический способ измерения

Стоит **задача** адаптации конструкции ВОРДКЖ к особенностям систем жизнеобеспечения, в частности необходимо емкость, через которую протекает жидкость, расположить в корпусе датчика так, чтобы оптическая система не находилась в контакте с окружающей средой.

Цель работы - защита от воздействия окружающей среды оптической системы ВОРДКЖ и емкости (капилляра), через которую протекает жидкость.

Материалы и методы

Основным подходом для достижения поставленной цели является герметизация ранее разработанной конструкции ВОРДКЖ, в первую очередь, в узлах соединения корпуса датчика и цилиндрического капилляра, через который будет протекать исследуемая жидкость системы жизнеобеспечения.

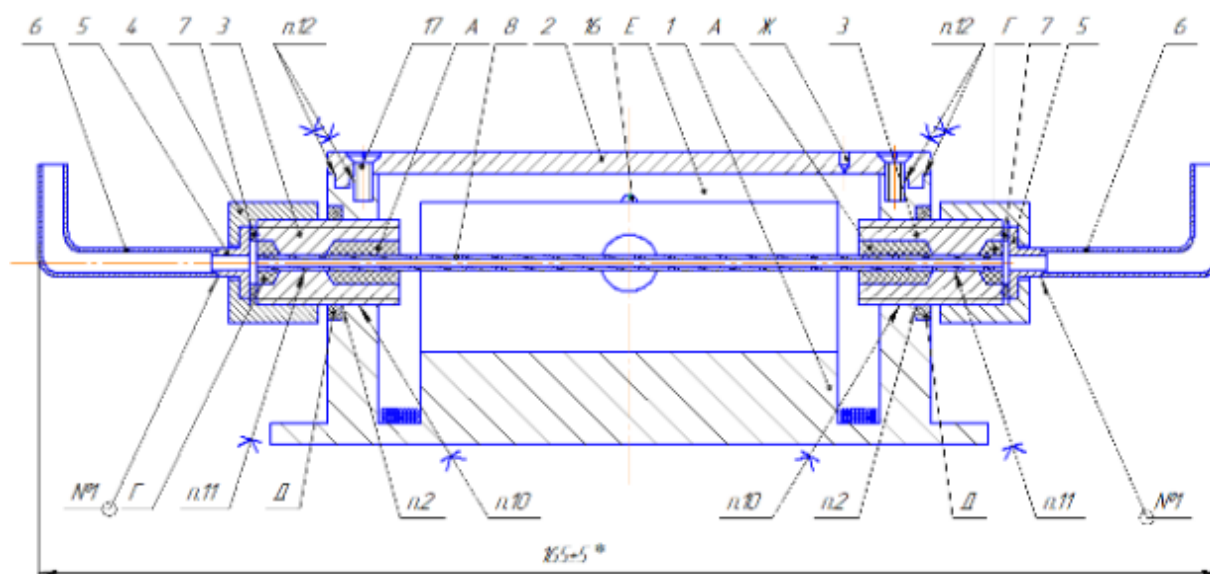
При проведении исследований использовались положения теории измерений, методы геометрической оптики, моделирование и графические построения в программах Компас-3D, Microsoft Office, MathCAD.

Результаты

Герметичная установка оптических волокон в аналогичных волоконно-оптических датчиках различных физических величин рассмотрена в работах [9, 10, 11]. Поэтому эти технические решения практически без изменения используем в данном датчике. Тем самым обеспечиваем унификацию конструктивно-технологического решения новых датчиков.

Более сложным является вопрос герметизации участков ввода и вывода жидкости. Необходимо соединить трубопровод системы мониторинга качества жидкостей, являющейся элементом системы жизнеобеспечения, с системой подвода жидкости в зону измерения датчика.

На рисунке 2 приведена предложенная герметичная конструкция ВОРДКЖ.



1 – корпус; 2 – крышка; 3, 9, 11 – втулки, 4 – гайка; 5 – фланец; 6 – трубка; 7 – прокладка; 8 – капилляр

Рисунок 2 – Герметичная конструкция волоконно-оптического датчика для измерения коэффициентов преломления жидкостей

Корпус 1 датчика имеет два сквозных боковых цилиндрических отверстия, через которые капилляр 8 соединяется с трубками 6, подводящими жидкость из системы жизнеобеспечения. Для герметизации соединений на капилляр 8 приклеены с двух торцов резьбовые втулки 3. Внешние трубки 6 стыкуются с капилляром 8 посредством накидной гайки 4, внутренний диаметр которой несколько превышает размер фланцев 5, установленных на торцах трубок 6.

Для более плотного соединения всех деталей введены резиновые прокладки 7, которые при резьбовом соединении втулок 3 и корпуса 1 растянутся, заполняя материалом возможные воздушные пространства.

Для более полной герметизации конструкции датчика к корпусу 1 приваривается с помощью точечной сварки крышка 2. Для того, чтобы после этой технологической процедуры в полости корпуса не остались остатки воздуха, приводящие к искажению оптического сигнала, полость корпуса заполняется инертным газом аргон.

Заключение

Предложенное техническое решение ВОРДКЖ гарантирует полную герметичность конструкции и, соответственно, снижение дополнительных погрешностей, вызванных изменением климатических условий.

ВОРДКЖ, реализующие новый рефрактометрический способ измерения показателя преломления, описанный в работе [7], можно использовать для экспресс-измерений не только в системах мониторинга качества жидкостей жизнеобеспечения, но и в системах диагностики загрязнения водной составляющей окружающей среды, а также для определения типа жидкости практически во всех отраслях народного хозяйства.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-10017 <https://rscf.ru/project/23-29-10017/>.

Литература

1. Серебряков В.Н. Основы проектирования систем жизнеобеспечения экипажа космических летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1983. – 160 с.
2. Волкова Г.В. Световодный рефрактометрический датчик контроля химического состава жидких сред: Дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13. Москва, 2004. 145 с. РГБ ОД, 61:05-5/817.
3. Латышенко К.П. Мониторинг загрязнения окружающей среды : учебник и практикум для среднего профессионального образования. М.: Издательство Юрайт, 2019. 375 с.
4. Волков Р.И., Федоров Э.И. Способ измерения показателя преломления и устройство для его реализации, патент на изобретение РФ №2292038, МПК G 01N 21/41, дата подачи заявки – 03.09.2005, опубл. 20.01.2007
5. Волков Р.И., Федоров Э.И. Способ измерения показателя преломления и устройство для его реализации, патент на изобретение РФ №2292038, МПК G 01N 21/41, опубл. 10.09.2015
6. Акмаров К.А., Артемьев В.В., Белов Н.П. Промышленные рефлектометры и их применение для контроля химических производств // Приборы. 2012. № 4 (142) – С. 1-8.
7. Бадеева Е.А., Бадеев В.А., Мурашкина Т.И., Серебряков Д.И., Хасаншина Н.А., Васильев Ю.А., Кукушкин А.Н. Патент на изобретение РФ 2796797 С2, Волоконно-оптический способ определения коэффициента преломления прозрачного вещества и реализующий его волоконно-оптический рефрактометрический измерительный преобразователь. Опубл. 29.05.2023
8. Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А., Истомина Т.В., Бадеев В.А., Аксенов А.М. [Преобразование сигналов в рефрактометрических волоконно-оптических микродатчиках систем жизнеобеспечения. Медицинская техника. 2023. № 6 \(342\). С. 29-32.](#)
9. Мурашкина Т. И., Бадеева Е.А. Волоконно-оптические приборы и системы: Научные разработки НТЦ "Нанотехнологии волоконно-оптических систем" Пензенского государственного университета Ч. I / СПб.: Политехника, 2018. 187 с. ил. <https://doi.org/10.25960/7325-1132-1>
10. Шачнева Е.А., Удалов А.Ю., Хасаншина Н.А., Юрова О.В., Кукушкин А.Н., Мурашкина Т.И. [Особенности технологических процедур сборки волоконно-оптических датчиков параметров жидкостных сред. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2019. № 1. С. 355-358](#)
11. Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А., Мотин А.В., Славкин И.Е., Барышев К.К. [Моделирование оптической системы волоконно-оптических датчиков с цилиндрической линзой](#)// В сборнике: Проблемы управления, обработки и передачи информации. Сборник трудов V Межд. юбилейной науч. конф. Саратовский государственный технический университет. 2017. С. 551-555.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО МИКРОДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Бадеев В.А., Кукушкин А.Н., Васильев Ю.А.*

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет»

+79656377632, badeeva_elena@mail.ru

Проблемы по обеспечению безопасности нахождения населения на опасных требуют совершенствования технологии мониторинга напряженно-деформированного состояния объектов. Активно ведутся разработки волоконно-оптических датчиков давления, температуры, вибрации, деформации и других физических величин. Важным вопросом является повышение чувствительности преобразования сигналов в датчиковой аппаратуре из-за малых значений их мощности.

В статье раскрыто определение функции преобразования оптико-механической системы волоконно-оптического микродастчика давления. Определяющим при ее расчете была модель преобразования световых потоков в волоконно-оптическом измерительном преобразователе. Функция преобразования принимает в расчет то, что сигнал в компенсационном канале остается неизменным, а в рабочем канале пропорционален измеряемому давлению, при этом аттенюатор выполняет роль жесткого центра мембраны - чувствительного элемента, так как их размеры сопоставимы. Предложенный волоконно-оптический датчик давления имеет малые продольные размеры, в связи с этим рекомендован к применению в составе системы мониторинга напряженно-деформированного состояния и может быть смонтирован в узких полостях строительных сооружений.

Ключевые слова: датчик, давление, напряженно-деформированное состояние, волоконно-оптический преобразователь, оптико-механическая система, параметры, функция преобразования

Mathematical model of a fiber-optic micro pressure sensor. Badeeva E.A., Murashkina T.I., Badeev V.A., Kukushkin A.N., Vasiliev Yu.A.*, Penza State University, *Kuban State Medical University

The problems of ensuring the safety of the population at dangerous sites require improving the technology for monitoring the stress-strain state of objects. The development of fiber-optic sensors for pressure, temperature, vibration, deformation and other physical quantities is actively underway. An important issue is to increase the sensitivity of signal conversion in sensor equipment due to the small values of their power.

The article reveals the definition of the conversion function of the optical-mechanical system of a fiber-optic pressure sensor. The determining factor in its calculation was the model of converting light fluxes in a fiber-optic measuring converter. The conversion function takes into account that the signal in the compensation channel remains unchanged, and in the working channel it is proportional to the measured pressure, while the attenuator acts as the rigid center of the membrane - sensitive element, since their sizes are comparable. The proposed fiber-optic pressure sensor has small longitudinal dimensions, and therefore is recommended for use as part of a stress-strain state monitoring system and can be mounted in narrow cavities of construction structures.

Keywords: sensor, pressure, stress-strain state, fiber-optic converter, optical-mechanical system, parameters, conversion function

Введение

Актуальные вопросы по обеспечению безопасности нахождения населения на опасных объектах, как в России, так и за рубежом, ввиду возникновения внезапных разрушений элементов конструкций зданий и сооружений, требуют совершенствования технологии мониторинга напряженно-деформированного состояния (НДС) строительных объектов.

Оперативная оценка фактического напряженно-деформированного состояния в несущих элементах различных строительных сооружений, возникающих под воздействием внутренних и внешних нагрузок, возможных ошибок при проектировании, является актуальной научно-технической задачей, обеспечивающей их безопасную эксплуатацию [1]. Решение данного вопроса лежит в основе применения принципиально новых информационно-измерительных систем в составе систем мониторинга НДС. Одна из таких систем основана на применении в своем составе волоконно-оптических датчиков (ВОД).

Интенсивность световой волны — это параметр, регистрируемый измерительным преобразователем в ВОД [2]. Световой поток при прохождении через оптическое волокно меняет свою интенсивность, что вызвано отражением и поглощением лучей света. В результате воздействия внешней среды (к примеру, давления) на измерительный преобразователь, интенсивность светового потока меняется, а степень ее изменения дает возможность определять значение данного воздействия [2].

Постановка проблемы

Во всем мире ведутся активные разработки ВОД давления, температуры, вибрации, деформации объектов и других физических величин, о чем свидетельствует перспективность применения волоконно-

оптических систем для практических приложений. Проекты по использованию волоконно-оптических измерительных систем в составе объектов для определения распределения механических нагрузок в строительных материалах, для мониторинга состояния железобетонных конструкций, ЛЭП, АЭС и т.п. успешно проходят проверку и тестирование [3-7].

Наиболее отработанными ВОД давления (ВОДД) для жестких условий эксплуатации являются датчики аттенуаторного типа [8, 9], в которых модуляция оптического сигнала осуществляется за счет поперечного перемещения аттенуатора под действием контролируемого давления относительно торцевой стороны оптических волокон и частичного перекрытия приемных торцов тенью непрозрачного аттенуатора [8, 9].

В ВОП давления (ВОПД) аттенуаторно-отражательного типа торцевые стороны ПОВ и ООВ располагаются в одной плоскости с одной стороны аттенуатора и тем самым исключается изгиб волокна, повышая надежность датчика [10]. Конструктивно оптико-механическую систему проектируют так, чтобы аттенуатор перемещался между торцевыми сторонами оптических волокон и зеркальной поверхностью чувствительного элемента [10].

Снизить погрешности ВОДД аттенуаторно-отражательного типа позволяет введенный в конструкцию датчика компенсационный канал [10]. Важным вопросом является повышение чувствительности преобразования сигналов в преобразователе, из-за малых значений их мощности [11].

Целью данного исследования стало повышение чувствительности преобразования сигналов в ВОДД аттенуаторно-отражательного типа. Основным подходом для достижения поставленной цели является определение функции преобразования оптико-механической системы ВОПД аттенуаторно-отражательного типа с дальнейшим численным математическим моделированием по определению конструктивных параметров, обеспечивающих максимальную чувствительность преобразования датчика.

В функции преобразования ВОДД систем мониторинга НДС крупных сооружений будет учитываться пространственное распределение мощности светового потока на излучающем торце ОВ. Интенсивность света на торцах ОВ имеет представление в виде полого усеченного конуса [2].

Аттенуатор и зеркальная поверхность располагаются относительно ПОВ так, чтобы световой поток был равномерно распределен в пространстве.

Задается линейная функция преобразования (ФП) для обработки выходного сигнала с датчика. Для этого преобразования света в оптико-механической системе проводятся в дальней зоне дифракции. Дальняя зона дифракции — это расстояние от излучающего торца ПОВ до аттенуатора существенно превышающая длину волны источника изучения [12, 13].

Торцевые стороны ООВ будут располагаться в зоне с равномерным распределением освещенности в поперечном сечении волоконно-оптического канала.

Так как в рассмотренном компенсационном ВОДД аттенуаторно-отражательного типа измеряемое давление P преобразуется в микроперемещение W центральной части мембраны [12, 13], то соответственно сформирована схемно-аналитическая модель, поясняющая преобразование измерительной информации в датчике с компенсационным каналом (рисунок 1).

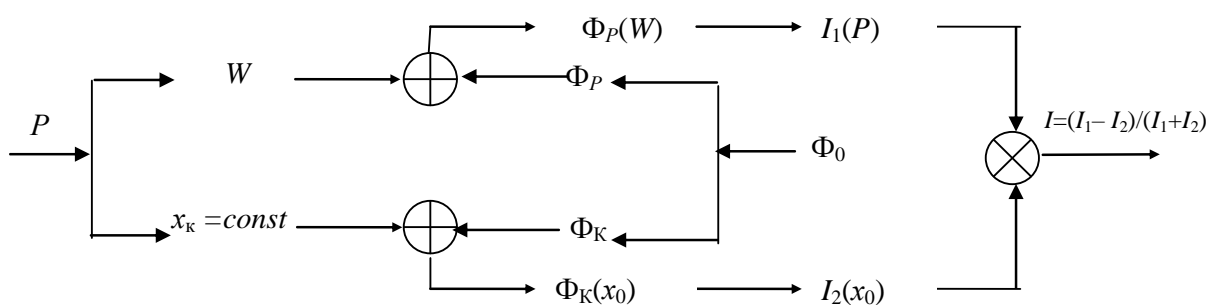


Рисунок 1 – Схематичное представление трансформации информационных потоков, переносимых светом в измерительном преобразователе

Микрооптико-механическая система ВОПД включает в себя подводящее оптическое волокно (ПОВ), отводящее рабочее (ООВ_р) и компенсационное (ООВ_к) волокна, общий торец которых закреплен на расстоянии X_0 от неподвижной зеркальной поверхности (рисунок 2).

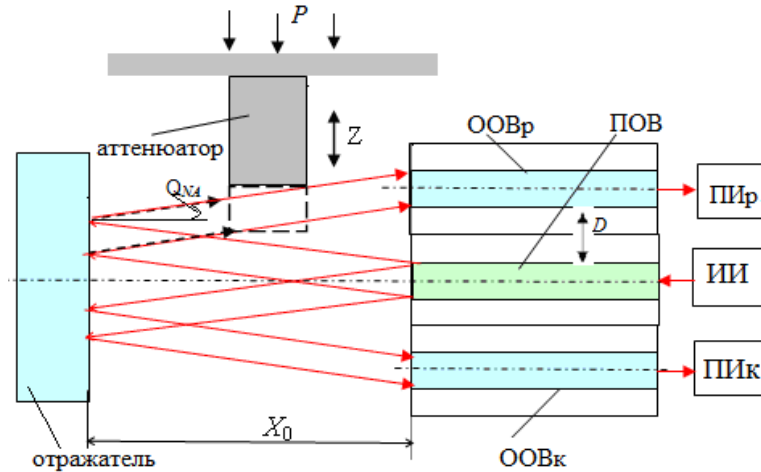


Рисунок 2 – Схематичное представление процесса модуляции

Световой поток Φ_0 , переданный по ПОВ в зону измерений в направлении зеркальной поверхности, отражается. Поток $\Phi_p=f(P)$ и $\Phi_k=const$ по ООВ_р и ООВ_к поступают на рабочий ПИР и компенсационный ПИК [12, 13]. Происходит преобразование световых сигналов в электрические сигналы $I_p(P)$ и $I_k(X=const)$.

При перемещении непрозрачного аттенюатора под действием давления P в направлении Z относительно торцов ПОВ и ООВ лучи света от ПОВ проходят в прямом направлении расстояние X_0 до зеркала и расстояние X_0 в обратном направлении до ООВ [2, 12, 15].

В плоскости принимающего свет торца ООВ появляется освещенная кольцевая зона S_{A-A} шириной $h=2r_c$, внешний и внутренний радиусы которой: $R_{внут}=2(Xtg\Theta_{NA}-r_c)$, $R_{внеш}=2Xtg\Theta_{NA}$.

При $Z=0$ аттенюатор позиционируется относительно общего торца ОВ так, чтобы освещенная кольцевая зона S_{A-A} полностью перекрывала поверхность $S_{OОВ}$ ООВ [12, 13, 15].

Когда происходит смещение аттенюатора в направлении Z на $Z=Z_i$, то и изменяется освещенная отраженным световым потоком площадь $S_{пр}$ приемного торца ООВ, т.е. $S_{пр}=f(Z)$.

Результаты исследований.

Вывод ФП рабочего измерительного канала $\Phi_p=f(P)$ проводится в соответствии с геометрическими построениями (рисунок 2).

ФП рабочего канала равна:

$$K_p(P) = K_1 K_{ис1} K_{сп1} K_{ип1}(X) K_{цм}(P), \quad (1)$$

где K_1 – коэффициент, распределения освещенности в рабочем канале;

$K_{ис1}$, $K_{сп1}$ – коэффициенты передачи потоков «ИИ – ПОВ_р» и «ООВ_р – ПИР»;

$K_{ип1}(x)$ – ФП рабочего оптического канала;

$K_{цм}(P)$ – ФП центральной части мембраны [12, 13, 15].

ФП компенсационного канала равна:

$$K_k(X_0) = K_2 K_{ис2} K_{сп2} K_{ком}(X_{ком}), \quad (2)$$

где K_2 – коэффициент, распределения освещенности в компенсационном канале;

$K_{ис2}$, $K_{сп2}$ – коэффициенты передачи потоков «ИИ – ПОВ_к» и «ООВ_к – ПИК»;

$K_{ком}(x)$ – ФП компенсационного оптического канала, где $x_{ком}=const$.

Расстояние от ОВ до зеркального элемента должно быть больше, чем расстояние фокусировки луча [2]. Из этого следует, что будут равны 1 K_1 и K_2 [2].

При вводе излучения в ОВ $K_{ис1}$ и $K_{ис2}$ равны [13]:

$$K_{ис} \approx k_y [(b+1)/2] NA^2, \quad (3)$$

где NA – числовая апертура ОВ;

$b=1, 2 \dots$ – показатель степени, характеризующий распределение светового потока источника излучения в пространстве [2];

k_y – коэффициент упаковки, $k_y = \sum S_{ОВ} / S_{ж}$; где $\sum S_{ОВ}$ – суммарная площадь поперечного сечения ОВ в жгуте;

$S_{ж}$ – площадь сечения всего жгута.

Исходя из издания Андреевой Л.Е. «Упругие элементы приборов» : $K_{ис1}=K_{ис2}=0,1 \dots 0,3$ [14]. Площади торцовых сторон ООВ_р и ООВ_к меньше площади светочувствительной площадки ПИ. Следовательно, коэффициент $K_{сп1}=K_{сп2}$ и будут равны 1.

Упругим элементом является круглая мембрана с жестким центром (аттенуатором), и ее прогиб $W_{\text{цм}}$ в центре равен [14]: « $W_{\text{цм}} = A_p \frac{PR^4}{Eh^3}$, где R, h - радиус и толщина мембраны; E, μ - модуль упругости,

коэффициент Пуассона материала мембраны; P - измеряемое давление; A_p - коэффициент, зависящий от отношения радиуса мембраны к радиусу жесткого центра» [14].

Под действием внешнего давления P происходит деформация центральной части чувствительного элемента. И прогиб центральной части мембраны приравнивается смещению аттенуатора $W=Z$. Тогда:

$$K_{\text{цм}}(P) = \frac{W_{\text{цм}}}{P} A_p \frac{R^4}{Eh^3}. \quad (4)$$

В соответствии с рисунком 2 и выражением (4) коэффициент $K_{\text{ИП1}}(x)$ в выражении (1) определяется следующим образом:

$$K_{\text{ИП1}}(X) = \frac{\rho}{4\pi r [2(X_0 - W_{\text{цм}})tg\Theta_{\text{НА}} - r]} \times C$$

где ρ - коэффициент отражения зеркала;

$$C = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{R^2}{2} \left[\frac{\pi}{90} \arcsin \frac{a}{2R} - \sin(2\arcsin \frac{a}{2R}) \right] + \frac{r_c^2}{2} \left[\frac{\pi}{90} \arcsin \frac{a}{2r} - \sin(2\arcsin \frac{a}{2r}) \right] \right\}.$$

Коэффициент $K(X_0)$, в соответствии с данными работы [15] определяется выражением:

$$K(X_0) = \frac{\rho}{4\pi r (2X_0 tg\Theta_{\text{НА}} - r)} \times C, \text{ где } a = AB = 2 \sqrt{r^2 - \left(\frac{D}{2} + \frac{r^2 - R^2}{2D}\right)^2}.$$

Измерительные каналы изготавливаются идентичными друг другу (за исключением зоны измерений), то коэффициенты спектрального согласования ИИ и ПИ рабочего и компенсационного каналов равны между собой $\eta_1(\lambda) \approx \eta_2(\lambda)$; чувствительности преобразования ПИ рабочего и компенсационного каналов равны $S_{\text{ПИ1}} \approx S_{\text{ПИ2}}$; параметры $a, R, NA, d_{\text{ов}}, r_c$ одинаковы для обоих каналов; в зону измерения рабочего и компенсационного каналов направляются световые потоки от единого источника излучения. Соответственно выражение функции преобразования датчика с компенсационным каналом с учетом промежуточных выводов примет вид:

$$\begin{aligned} [I_P(P) - I_K(x_{\text{ком}})] / [I_P(P) + I_K(x_{\text{ком}})] = (k_{y1} - k_{y2}) / (k_{y2} + k_{y2}) \times \{ C: [2(X_0 - \frac{3}{16} P \frac{1-\mu^2}{Eh^2} R_M^4) tg\Theta_{\text{НА}} - r_c] \} - \\ - \{ C: [2x_{\text{ком}} tg\Theta_{\text{НА}} - r_c] \} / \{ C: [2(X_0 - \frac{3}{16} P \frac{1-\mu^2}{Eh^2} R_M^4) tg\Theta_{\text{НА}} - r_c] \} + \{ C: [2x_{\text{ком}} tg\Theta_{\text{НА}} - r_c] \} \}. \end{aligned} \quad (5)$$

Следовательно ФП ВОДД зависит от: геометрических размеров ОВ, $\Theta_{\text{НА}}$ волокна; его моделью; количеством ООВ; расстоянием между оптическими осями ПОВ и ООВ; расстоянием между торцом ОВ и отражающим элементом.

Заключение

Выведенная ФП ВОДД с каналом компенсации погрешностей, входящего в состав микродатчика давления. Поток света в компенсационном канале остается неизменным, а в рабочем канале пропорционален измеряемому давлению. Численное математическое моделирование на основе выведенной функции преобразования позволит определить конструктивные параметры измерительной системы, обеспечивающие максимальную чувствительность преобразования сигналов в датчике.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00595, <https://rscf.ru/project/24-29-00595/>

Литература

1. ГОСТ 31937-2011. Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/54142/> (дата обращения: 12.07.2024).
2. Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А. Волоконно-оптические приборы и системы: Научные разработки НТЦ «Нанотехнологии волоконно-оптических систем» Пензенского государственного университета Ч. I / СПб.: Политехника, 2018. - 187 с.

3. Гуляев И.Н., Гуняева А.Г., Раскутин А.Е., Федотов М.Ю., Сорокин К.В. Молниезащита и встроенный контроль для конструкций из ПКМ // Труды ВИАМ. – 2013. – № 4. – С. 10.
4. Kablov E.N., Sivakov D.V., Gulyaev I.N., Sorokin K.V., Fedotov M.Yu., Dianov E.M. Application of optical fiber as strain gauges in polymer composite materials // Polym. Sci. Ser. D. - 2011. - Vol. 4, no. 3. - p. 246-251.
5. Кошелева Н.А., Сероваев Г.С. Моделирование напряженного состояния в окрестности встроенного в полимерный композиционный материал оптического волокна с учетом структурных особенностей композита // Вычислительная механика сплошных сред. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 466-473.
6. Singh B.P., Singh T., Narwade R.P., Agrawal N. Recent progress of fibre optic sensors for the structural health monitoring of civil infrastructure sensors and fiber optics: recent trends, 2023. - Edition: 1st. - Chapter: 6. - pp.61-77.
7. Калижанова А.У., Кашаганова Г.Б., Козбакова А.Х., Едилхан Д., Амиргалиева Ж.Е., Оразбеков Ж. Анализ и исследование существующего опыта проектирования и использования различных современных волоконно-оптических датчиков для контроля состояния механических и строительных конструкций // Вестник КазАТК. - 2021. - №118(3). – С.112-123.
8. Бадеева, Е.А., Пивкин А.Г., Мещеряков В.А., Мурашкина Т.И. Волоконно-оптический датчик для давления аттенуаторного типа летательных аппаратов // Датчики и системы. -2003. - №4. – с. 11–14.
9. Бадеева Е.А. Обоснование конструктивного исполнения предельных аттенуаторов волоконно-оптических датчиков // Датчики и системы. - 2003. - №7. - с. 47 – 49.
10. Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Серебряков Д.И., Бадеев А.В. Патент на изобретение РФ 2740538 МПК G01L 13/00. Способ преобразования светового потока и реализующий его волоконно-оптический датчик давления. Дата регистрации: 15.01.2021.
11. Бадеева Е.А., Щербакова А.А., Полякова Е.А., Мурашкина Т.И. Оценка взрывопожаробезопасности информационно-измерительных систем на базе волоконно-оптических датчиков с открытым оптическим каналом // Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР : сб. тр. 11-й Междунар. науч.-техн. конф. (21-24 мая 2019 г., ОКБ «Гидропресс» г. Подольск). Подольск, 2019. С. 148-150.
12. Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Бадеев А.В. Микро-оптико-механические системы волоконно-оптических датчиков давления: монография / Пенза.: изд-во ПГУ, - 2020. - 268 с.
13. Бадеева Е.А. ВОДД отражательного типа для информационно-измерительных систем: Дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16. – Пенза, 2005. - 247 с.
14. Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов/ Изд. 2-е перераб. и доп М.: Машиностроение, 1981.- 391 с.
15. Бадеева Е.А., Коломиец Л.Н., Кривулин Н.П. и [др.] Разработка теории распределения светового потока в оптической системе волоконно-оптических преобразователей физических величин отражательного типа: Монография // Под общ. ред. проф. Мурашкиной Т.И.-ИИЦ ПГУ, 2008. – 102 с.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ МОБИЛЬНЫХ РЛС

Барбасов Н.В., Гвоздарев Р.С.*
ПАО «НПО «Алмаз», *МАИ
okb.lemz.8otdel@gskb.ru

Эффективность бортовых радиолокационных станций РЛС напрямую зависит от их способности противостоять внешним воздействующим факторам, в частности, вибрационным нагрузкам. Дegradация электромонтажных соединений, изменение конструкции антенны, смещение средств определения местоположения в пространстве, под длительным воздействием вибрационных нагрузок ухудшает качество работы РЛС. В результате, эффективность работы РЛС значительно снижается. Поэтому повышение виброустойчивости узлов РЛС, особенно антенн, является важной конструкторской задачей. Создание надежной защиты от вибраций позволит обеспечить стабильную работу РЛС в сложные условия эксплуатации, гарантируя высокую точность обнаружения и эффективное выполнение поставленных задач.

Ключевые слова: виброзащита, вибрационные нагрузки, виброизоляция, диаграмма направленности антенны, вибрации, РЛС на колесном шасси, квазиулевая жесткость.

Using vibration protection to increase the reliability of radar on a wheel chassis. Barbasov N.V., Gvozdarev R.S.*, PJSC NPO Almaz, *MAI.

The effectiveness of airborne radar stations directly depends on their ability to withstand external influencing factors, in particular vibration loads. Degradation of electrical connections, changes in antenna design,

displacement of means of determining location in space, under prolonged exposure to vibration loads deteriorate the quality of radar operation. As a result, the radar's operating efficiency is significantly reduced. Therefore, increasing the vibration resistance of radar components, especially antennas, is an important design task. Creating reliable vibration protection will ensure stable operation of the radar in difficult operating conditions, guaranteeing high detection accuracy and efficient performance of assigned tasks.

Key words: vibration protection, vibration loads, vibration isolation, antenna radiation pattern, vibrations, radar on a wheeled chassis, quasi-zero stiffness.

Введение

РЛС являются неотъемлемой частью современной военной обороны, обеспечивая обнаружение и идентификацию угроз с воздуха, моря и суши. Однако эксплуатация РЛС в полевых условиях, особенно мобильных, подвергает их воздействию вибрационных нагрузок, которые могут существенно влиять на их точность и эффективность. Изменение формы и ориентации антенны под воздействием вибрационных нагрузок создает серьезные проблемы для работоспособности радиолокационной системы. Основным негативным последствием от длительного воздействия вибрационных нагрузок является искажение диаграммы направленности антенны (ДНА). Согласно различным исследованиям коэффициент усиления антенны может уменьшиться на 10%. В качестве примера можно привести график полученный в исследовании [1] (рис.1). На данном графике сплошной линией (линия №1) показана ДНА неискаженной от вибрационных нагрузок антенны, а пунктирными (линии №2-5) – искаженные вибрационными нагрузками ДНА. Как видно на данной графике ДНА может существенно искажаться от вибрационных нагрузок. В связи с этим возникает задача подавления вибрационных частот, влияющих на РЛС на колесном шасси.

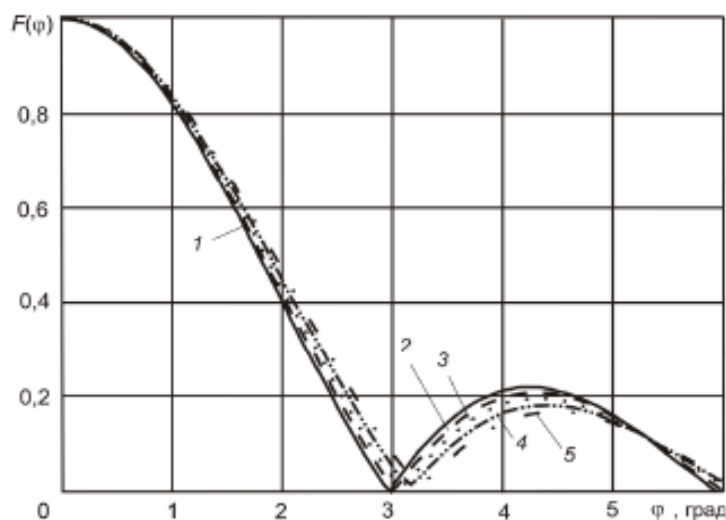


Рисунок 1 – Искажение ДНА от воздействия вибрационных нагрузок

Источники вибраций, разделяют на внутренние и внешние. Внутренними источниками называют те источники, которые возникают из-за работы внутренних механизмов, таких как двигатели, трансмиссия, вращающиеся механизмы и системы охлаждения. К внешним источникам вибраций относят дорожные неровности, порывы ветра, волнение на воде и т.п.

Из-за большого числа источников вибрации как внутренних, так и внешних характеристики вибрационных нагрузок непредсказуемы, в связи с этим применяются усредненные приближенные данные, согласно которым у РЛС на колесном шасси возникают вибрации в диапазоне 400-7000 Гц при эксплуатации и 0-15 Гц при транспортировке [2].

Для защиты РЛС от вибрационных нагрузок необходимо виброизолировать источник вибрации. При невозможности применения виброизоляции в мобильной радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) применяется активное виброгашение т.к. данный метод виброзащиты эффективно защищает РЭА в широком диапазоне частот. Рассмотрим оптимальные методы виброизоляции для подбора наиболее эффективной системы для защиты антенны РЛС на колесном шасси.

Выбор метода виброизоляции

Виброизоляция — это способ виброзащиты заключающийся в сокращении вибрации конструкции с помощью уменьшения передачи колебаний данной конструкции. Стоит учитывать, что виброизоляция может использоваться как изолятор каждого из источников вибрации (что невозможно для мобильных

РЛС), так и изолятор узла РЛС наиболее подверженный воздействию вибраций. Для нашей задачи таким узлом является антенна. Системы виброизоляции разделяют на активные и пассивные.

Активные системы виброизоляции представляют собой очень дорогие систем (в разы дороже пассивных) и менее надежными. Также важно отметить, что в России имеются технологические сложности с внедрением данных систем, в связи с этим они закупаются из-за рубежа.

Пассивные системы используют для защиты РЭА как наиболее простые и экономически оправданные. В СССР серийно выпускали виброизоляторы различных типов. На сегодняшний день в силу технической простоты и дешевизны виброизоляторы с линейной силовой характеристикой массово применяются в различных областях техники. Недостатком виброизоляторов с линейной силовой характеристикой является ограниченность эффективности, связанную с тем, что они уменьшают вибрации менее чем на 20–25 дБ. Существуют системы, представляющие собой две соединенные системы виброизоляции, позволяющие увеличить эффективность виброизоляции до 45 дБ, но при этом сложность и габариты значительно увеличиваются. В связи с этим стали возникать системы, использующие нелинейную силовую характеристику, в том числе и характеристика с квазиулевой жесткостью. В данной характеристике имеется практически нулевая жесткость. Низкая жесткость системы при нагрузке изменяет частоту собственных колебаний, что позволяет защитить конструкцию от колебаний [3–9]. Т.е. данная система выполняет поставленную задачу. В разных источниках встречаются различные названия данной системы: система с отрицательной жесткостью (system with negative stiffness), система с нулевой жесткостью (zero-stiffness system), виброизоляторы с нелинейной характеристикой [3]. В России данные системы чаще всего называются "виброизоляторы с квазиулевой жесткостью" [3], [4].

Анализ виброизолятора с квазиулевой жесткостью

Для защиты антенны рассмотрим система с эффектом квазиулевой жесткости (см. рис. 2). Антенна массой 5,66 кг установлен на 3 спиральных несущих пружины и стержень проходящий через центральную пружину, предотвращающий перемещение по координатам X и Z. Угол между осью боковых пружин и центральной составляет 45° . Жесткость каждой из пружин составляет 0,4 Н/м. Пружины зафиксированы как показано зелеными стрелками на рис. 3 (основание скрыто с целью упростить вычисления)

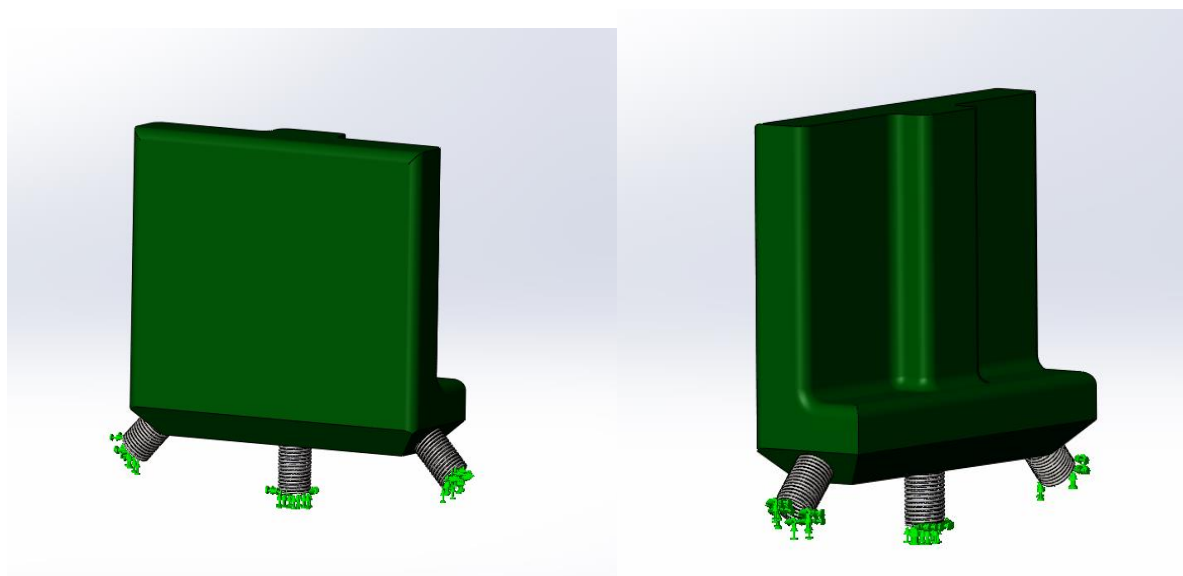


Рисунок 2 – Внешний вид антенны

Чтобы подтвердить, что предложенная система обладает эффектом квазиулевой жесткости, рассмотрим график зависимости приложенной нагрузки на антенну от смещения в глобальном направлении Y (см. рис.4). На данном графике видно, что жесткость системы не линейна.

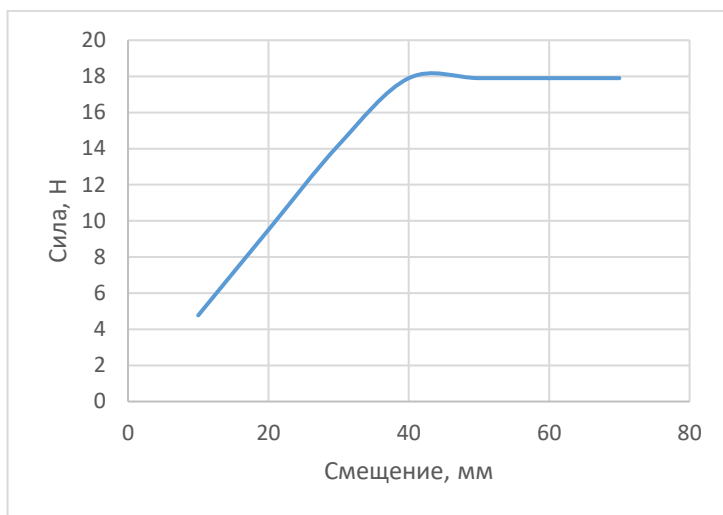


Рисунок 3 – График зависимости приложенной нагрузки на антенну от смещения в глобальном направлении Y

Проведем частотный анализ для рассматриваемой системы в SolidWorks 2019. По результатам анализа определены резонансные частоты для эффективного коэффициента участия массы для 40 мод в глобальном направлении Y, нормированных по отношению к общей массе системы для каждого из мод. Результаты обобщены в таблице 1.

Таблица 1 – Результат частотного анализа

МодаNo.	Частота (Герц)	Направление Y
1	86,458	0,00035912
2	86,469	1,65E-05
3	86,544	0,00010121
4	90,426	0,0081796
5	90,437	3,09E-05
6	90,442	0,00053793
7	102,14	1,19E-05
8	104,31	6,12E-07
9	104,48	3,13E-07
10	105,15	0,00069139
11	105,17	0,00011349
12	105,26	0,0046316
13	110,71	8,28E-07
14	165,83	0,00034454
15	166,4	0,00040719
16	166,74	0,00038578
17	169,68	0,00036834
18	170,92	0,0050373
19	171,08	0,0023536
20	174,21	0,00015568
21	174,55	0,00031303
22	174,65	5,34E-05
23	177,76	0,00088827
24	180,03	0,0086219

25	180,19	6,21E-05
26	180,59	2,76E-05
27	192,09	0,80811
28	202,8	0,026983
29	236,27	0,038224
30	242,81	1,73E-05
31	243,53	4,33E-05
32	243,78	0,001422
33	245,8	0,00042657
34	246,46	2,42E-05
35	247,12	0,0016767
36	250,91	0,00099949
37	254,85	4,28E-06
38	255,13	0,00031303
39	255,7	6,99E-05
40	264,86	7,49E-05
		Сумма Y = 0,91205

Обязательным условием проверки частотного анализа является участие не менее 90% эффективного коэффициента массового участия в глобальных координатах, по которым будет проводиться исследование [10]. Т.к. антенна зафиксирована на стержне и ее перемещение вдоль координат X, Z, является не возможным, в дальнейшем будет рассматриваться перемещение вдоль координаты Y. В табл. 1 видно, что эффективный коэффициент массового участия в каждом из направлений равен 91,205%, следовательно, количество мод достаточно, для корректного анализа.

Вызвать резонанс могут частоты коэффициент массового участия свыше 1%. Для выявления таких частот построим согласно табл.1 гистограмму зависимости коэффициента массового участия от моды (см. рис.4), с коэффициентом массового участия до 1%. Согласно данной гистограмме существуют лишь 3 моды чей коэффициент массового участия превышающих 1% - это 27, 28 и 29 моды. В дальнейшем будем рассматривать только эти три моды, т.к. остальные моды имеют пренебрежимо малый эффективный коэффициент участия массы.

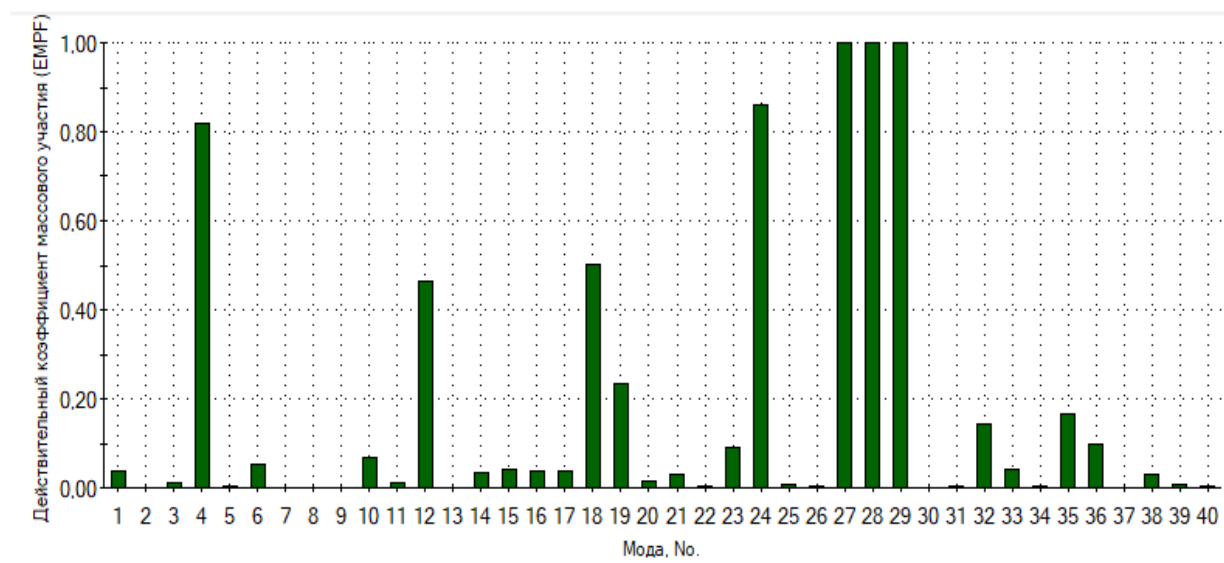


Рисунок 4 – График изменения на нагрузки антенну от смещения в глобальном направлении Y

Резонансные частоты рассматриваемой конструкции равны 192,09 Гц, 202,8 Гц, 236,27 Гц. Собственная частота конструкции должна лежать за пределами диапазона частот внешних воздействий [2,11]:

$$f \notin [0,7f_{\min}^B; 1,3f_{\min}^B] \quad (1)$$

где f – собственная частота, f_{\min}^B – минимальная частота диапазона внешних воздействий, f_{\max}^B – максимальная частота диапазона внешних воздействий.

Как было сказано выше существуют два диапазона частот при эксплуатации и транспортировке. Проверим входят ли резонансные частоты в данные диапазоны:

$$[0,7f_{\min}^{BT}; 1,3f_{\min}^{BT}] = [0,7*0; 1,3*15] = [0 \text{ Гц}; 19,5 \text{ Гц}] \quad (2)$$

$$[0,7f_{\min}^{B3}; 1,3f_{\min}^{B3}] = [0,7*400; 1,3*7000] = [280 \text{ Гц}; 7000 \text{ Гц}] \quad (3)$$

где f_{\min}^{B3} – минимальная частота диапазона внешних воздействий при эксплуатации, f_{\max}^{B3} – максимальная частота диапазона внешних воздействий при эксплуатации, f_{\min}^{BT} – минимальная частота диапазона внешних воздействий при транспортировке, f_{\max}^{BT} – максимальная частота диапазона внешних воздействий при транспортировке.

Ни одна из резонансных частот не входит в диапазон внешних частот, следовательно, рассматриваемая конструкция не будет входить в резонанс и будет эффективно защищать от вибраций.

Заключение

Предлагаемая в данной работе система виброзащиты, оптимизированная для минимизации вибраций радиолокационных станций на колесном шасси, демонстрирует высокую эффективность. Примечательно, что ее производство возможно без использования импортных компонентов, что делает ее привлекательной с точки зрения импортозамещения. Выводы исследования могут быть использованы при проектировании систем РЛС, обеспечивая более надежную работу и точность измерений.

Литература

1. Талибов Н. А., Якимов А. Н. Исследование влияния вибрационных воздействий на волноводно-щелевую антенну. / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. -2010. - №4(16). – с.89-96
2. Талицкий Е.Н. Защита электронных средств от механических воздействий. / Владимир.: Владим. гос.ун-т., 2001. – 256 с
3. Цзя Фу, Гуанмин Лю, Чаохуэй Фань, Цзыян Лю, Хайтао Луо. Проектирование и экспериментальное исследование по снижению вибрации лидера БПЛА с использованием резинового материала. / Актюаторы. -2022 - №11 (12) – с.345-367
4. Валеев А.Р., Зотов А.Н., Мастобаев Б.Н., Мовсумзаде Э.М. Развитие систем вибрационной защиты машин и оборудования. / История и педагогика естествознания. – 2021 - №3-4. - с.22-28.
5. Бурьян Ю. А., Силков М. В. Виброизоляция опор с эффектом квазиулевой жесткости / Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. - 2019. - Т.3, № 2. - с. 9–14.
6. Климов К. Н., Епанешникова И. К., Белевцев А. М., и др. Разработка метода выбора переменной интегрирования распространения электромагнитных волн во временном режиме/ Труды SPIE – Международного общества оптической инженерии. – 2019. – 9с.
7. Климов, К.Н. Геометрическая интерпретация синтеза квазиоптической системы для многолучевых фазированных антенных решеток. / Радиотехника и электроника. – 2015. –Т.60, №3. – с.254.
8. Пшеничкин А. С., Климов К. Н. Твердотельное передающее устройство вторичной РЛС с фазовой коррекцией суммированных сигналов. / Вестник воздушно-космической обороны. -2021. - № 1(29) - с.83-91.
9. Никуйко С.А., Гвоздарев Р.С. Анализ механической прочности блочных каркасов на базе стандарта МЭК 60297 и варианты модернизации для перспективных РЛС/ Вестник Воздушно-космической обороны. - 2022 – 14с.
10. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. / М.: ДМК Пресс, 2019. – 464с.
11. Суровцев Ю.А. Амортизация радиоэлектронной аппаратуры. / М: Советское радио, 1974. - 176с.

О ВЫДЕЛЕНИИ ИЗ ТЕКСТОВ ПРЕДПОСЫЛОК К СОБЫТИЯМ НА ПРИМЕРЕ СОБЫТИЯ УЛЫБКИ

Барков М.Д., Волкова Л.Л.
МГТУ им. Н. Э. Баумана
+7 (499) 263-68-08, notmirp@mail.ru, liliya@bmstu.ru

Статья посвящена выделению коллокаций в художественных текстах на русском языке. Эта задача рассмотрена в составе автоматизации процесса выделения средств достижения коммуникативной цели из текстов на естественном языке применительно к событию улыбки. Представлена функциональная схема

предложенного метода выделения в окрестности клаузы с заданным глаголом, указывающим на цель, клауз-коллокаций, которые являются первичными гипотезами о средствах достижения выбранной цели. Выбранные клаузы подлежат дальнейшему экспертному анализу и отбору для последующего использования в диалоговых системах, например, для робота Ф-2.

Ключевые слова: автоматизация, коллокация, синтаксический анализ, дерево синтаксических зависимостей, фильтрация текста.

On selecting hypothetic prerequisites to events, namely a sample event of smiling. Barkov M.D., Volkova L.L. Bauman Moscow State Technical University.

This paper dwells on extracting collocations from fiction texts in Russian. This task is regarded in context of automating the process of mining means of communicative goal accomplishment from natural language texts in application to the event of smiling. A functional scheme is presented for the introduced method which considers a neighbourhood of a clause with a fixed verb in order to mine clauses collocations which are regarded as primary hypotheses for means of a given goal accomplishment. Selected clauses are subject to further expert analysis and filtering in order to be used in dialogue systems, such as that of the F-2 robot.

Keywords: automation, collocation, syntactic analysis, syntactic dependency tree, text filtering.

Введение

Целеполагание в диалоговых системах является актуальной проблемой. Основу диалоговой системы (исключая позднейшее понимание термина «чат-бот» как меню, которое допускает ввод слова вместо номера пункта меню [1]) представляет метод, осуществляющий коммуникацию. При целеполагании должны быть методы, определяющие текущую коммуникативную цель, и методы, определяющие средства для ее достижения [2]. Также должна быть предусмотрена реакция системы в зависимости от действий пользователя и контекста диалога. Робот Ф-2 [3] способен определять цель, но не имеет метода для выделения средств ее достижения, что обуславливает актуальность разработки метода автоматизированного выделения гипотез о средствах достижения цели из корпуса текстов на русском языке.

При анализе и проектировании сложных систем используется блочно-иерархический метод, предусматривающий сведение задачи большей размерности к совокупности задач меньшей размерности [4]. Одна из частных задач в этом случае – анализ и контроль правильности функционирования системы на ранних этапах ее разработки, с этим связано определение состава функциональных блоков и их взаимодействия [4]. Так, следует предусмотреть такую функциональность отдельного вспомогательного ПО для раннего выделения возможных средств достижения цели, чтобы эксперт мог (1) выделить первичные гипотезы из текстов, затем (2) выполнить отсев нерелевантных или неприемлемых гипотез и (3) выполнить апробацию использования различных средств достижения цели с привлечением респондентов для итоговой оценки уместности, человекоподобности, приятности выбранных средств [5]. В задачах человеко-машинного взаимодействия, как и в задачах цифровой обработки сигналов, оценки, данные человеком, зачастую являются важнейшим критерием качества полученного результата [6].

Постановка проблемы

Диалоговые системы непосредственно связаны с дисциплиной компьютерной лингвистики. Компьютерная лингвистика изучает способы анализа текстов на естественном языке, процессы обработки естественных языков и компьютерное моделирование систем искусственного интеллекта, использующих математические модели для описания естественных языков [7]. Диалоговые системы отличаются особенностью взаимодействия с пользователем – как посредством графического интерфейса, когда на определенные события, вызываемые пользователем, система должна давать отклик, так и исключительно на естественном языке, когда пользователь вводит текст или взаимодействует с диалоговой системой посредством голосового интерфейса.

Ввод текста может быть текстовым или голосовым с последующим преобразованием в текстовый формат. В диалоговой системе робота Ф-2 используется понятие коммуникативной цели, которую роботу нужно достигнуть: выразить радость, грусть, приветствие и др. [8]. Вызвать улыбку у собеседника (далее «улыбнуть собеседника») – одна из важных коммуникативных целей для робота Ф-2. Однако для реализации роботом диалоговой функции потребуются средства достижения этой цели. Разработанный метод выделения средств достижения коммуникативной цели из текста на естественном языке (далее – метод выделения средств достижения цели) позволяет автоматизировать процесс поиска потенциальных способов достижения цели в корпусе текстов на русском языке экспертами. Выполняется поиск коллокаций, т.е. совместных употреблений в тексте действий – цели и гипотетического средства ее достижения. Допустимыми целями являются только глаголы. В тексте выполняется поиск клауз (в русистике клауза – элементарное предложение [9]), содержащих упоминание цели (например, некто улыбнулся), и соседних клауз, расположенных на расстоянии не более 2 предложений от целесодержащей.

Выделение таких коллокаций позволит значительно снизить время выделения гипотез о возможных средствах достижения цели за счет автоматизации такого поиска; решение о принятии гипотезы надлежит принимать эксперту.

На рис. 1 представлена функциональная схема предложенного метода выделения средств достижения цели, служащего автоматизации поиска таких средств в корпусе текстов на русском языке.

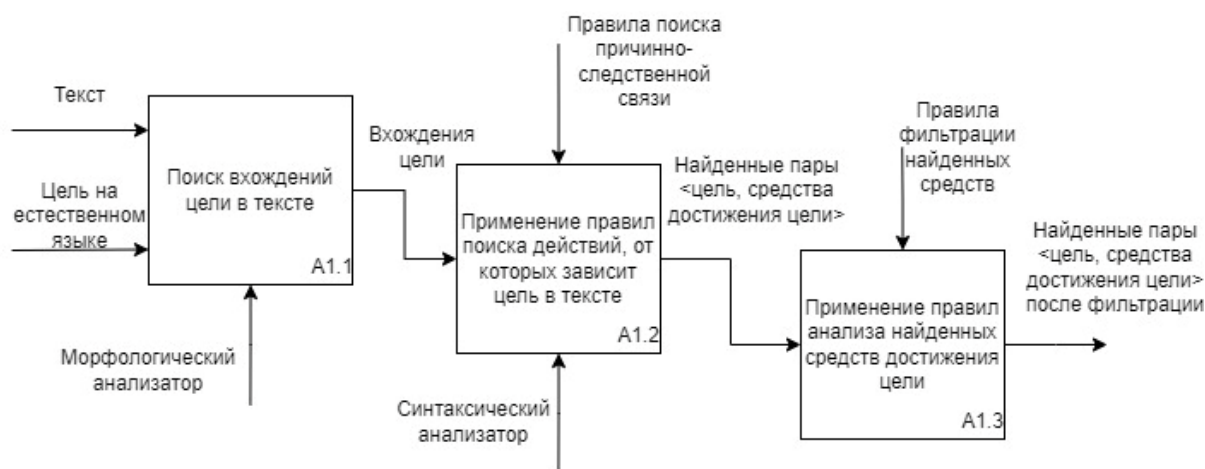


Рисунок 1 – Функциональная схема метода выделения средств достижения цели в нотации IDEF0.

При обнаружении вхождения глагола-цели также анализируются соседние предложения и связи цели со словами из них. На рис. 2 представлен пример синтаксических зависимостей в предложении для цели «улыбнуть» (выполняется поиск клауз с возвратным глаголом «улыбнуться»): для слов в предложении указаны их части речи и направленные связи от главного слова к зависимому с указанием меток связей. Это один из способов представления дерева синтаксических зависимостей для слов в предложении, для его получения использована библиотека с открытым исходным кодом spacy.

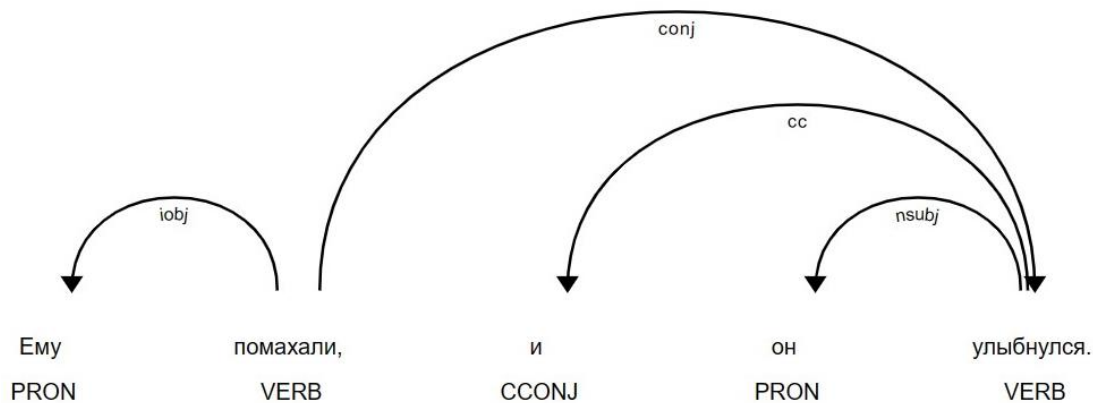


Рисунок 2 – Синтаксические зависимости для цели «улыбнуть».

На рис. 2 найдено вхождение цели-глагола в форме «улыбнулся», которая имеет зависимость с типом связи conj – соединение – с родительским узлом с глаголом «помахать» в форме «помахали». Глагол «помахать» выделяется как возможное средство достижения цели «улыбнуть».

Для определения предпосылок к событию улыбки как возможных средств достижения роботом этой коммуникативной цели – «улыбнуть собеседника» – используются следующие правила:

- цель зависит от глагола (т.е. является дочерним узлом в дереве синтаксических зависимостей);
- цель зависит от деепричастия со связью advcl – образ действия;
- если у цели есть дополнения, то выполняется проверка, совпадают ли их словоформы со словоформами потомков цели в дереве синтаксических зависимостей для описания цели.

На рис. 3 представлен пример выделенных средств-глаголов для цели «улыбнуть» и их сопоставление с языком разметки действий робота на языке BML.

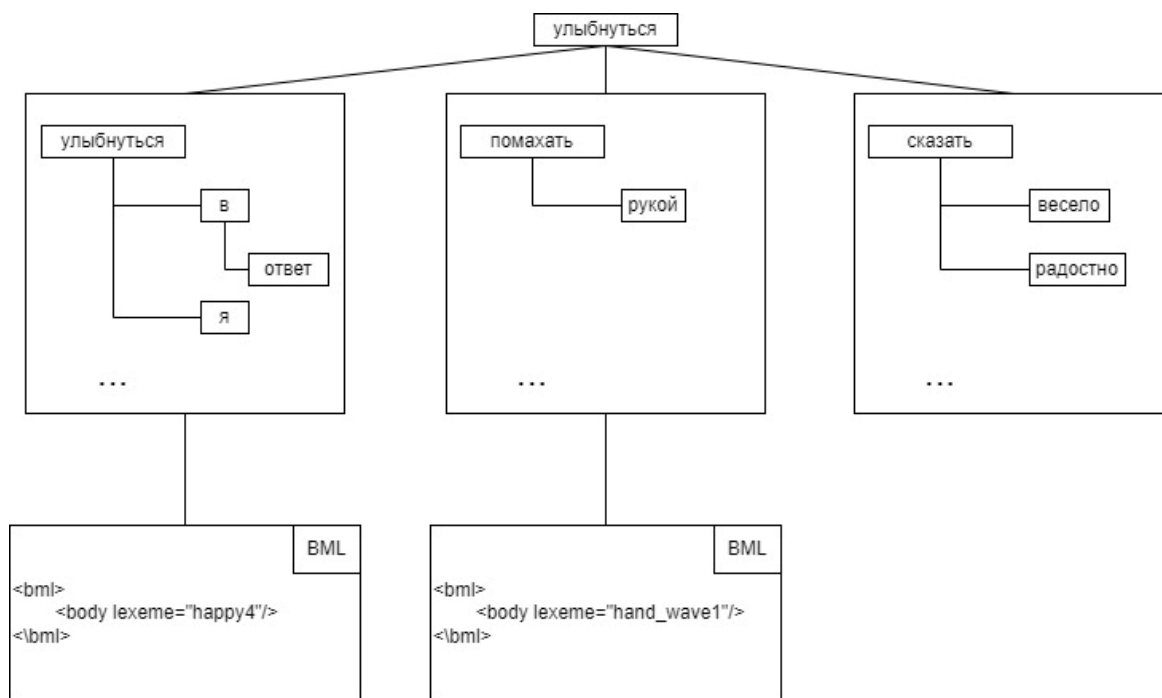


Рисунок 3 – Найденные глаголы-средства достижения цели «улыбнуться».

В качестве контрпримера можно привести предложение из текста в жанре научной фантастики, определенное методом, как гипотетическое средство достижения цели: «Он улыбнулся и нажал на кнопку огнемета». Данный контрпример показывает потребность в модификации метода этапами семантического анализа. Помимо этого следует учитывать жанровую принадлежность и функциональные стили текстов, предложения из которых анализирует метод [10]. Можно перечислить следующие направления модификации метода: добавление этапа семантического анализа, контент-анализ текстов, добавление правил фильтрации средств достижения цели, статистический анализ найденных средств, а также анализ тональности и возможной токсичности текстов, которые подвергаются анализу на предмет выделения возможных средств достижения цели [11–13].

Заключение

Созданный метод позволяет частично автоматизировать поиск предпосылок в текстах для событий-целей, в том числе и для одной из основных коммуникативных целей диалоговых роботов – улыбки. Применение вторичных правил фильтрации уменьшает получаемый набор средств после анализа текста. Однако в текущей реализации метода не учитываются такие характеристики, как свойства текстов, и статистический анализ найденных средств (к примеру, какое средство чаще всего приводит к событию улыбки и как сильно отличаются его лингвистические характеристики в разных вхождениях). Также существуют контрпримеры, показывающие потребность в семантическом анализе найденных средств-гипотез. По итогам выполненной в автоматизированном режиме работы перечень выделенных гипотез о возможных средствах достижения указанной цели представляется на анализ оператору, который выбирает и утверждает средства для дальнейшего использования.

Литература

1. Волкова Л.Л. О диалоговых системах и классификации их функциональности // Проблемы лингвистики и лингводидактики в неязыковом вузе: 5-я Международная научно-практическая конференция (Москва, 15–16 декабря 2022 года): сборник материалов конференции : в 2 т. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»; Факультет «Лингвистика» МГТУ им. Н. Э. Баумана; Ассоциация технических университетов России и Китая. — М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. — Т. 1. — С. 43–49.
2. Виноград Т. Программа, понимающая естественный язык: Пер. с англ. / Терри Виноград; Пер. С. С. Калитин, Ред. пер. Г. Е. Поздняк. — М.: Мир, 1976. — 298 с.
3. Робот Ф-2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://f2robot.com> (дата обращения: 04.05.2023).

4. Рудаков И.В. Методика иерархического исследования сложных дискретных структур / Наука и образование. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — № 06, июнь 2012. — DOI: 10.7463/0612.0370230.
5. Volkova L., Kotov A., Ignatev A. Crowdsourcing-based approbation of communicative behaviour elements on the F-2 robot: perception peculiarities according to respondents / Studies in Computational Intelligence, LNCS 1130. — Cham: Springer, 2024. — Pp. 932–945. — DOI: 10.1007/978-3-031-50381-8_101.
6. Imanov Sh.E., Volkova L.L. Towards developing a mobile application for automated assessment of evaluation of a conversational robot dialogue strategies // Information Innovative Technologies: Materials of the International scientific–practical conference. / Ed. Uvaysov S. U., Ivanov I. A. — М.: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2021. — Pp. 298–302.
7. Прикладная и компьютерная лингвистика / Ред. Николаев И.С., Митренина О.В., Ландо Т.М. — М.: URSS, 2016. — 320 с.
8. Юсупов И.Ф., Куратов Ю.М. Диалоговый агент с обучаемым диалоговым менеджером // Труды МФТИ. — 2020. — Т. 12, № 4. — С. 106–120.
9. Тестелец Я. Г. Глава IV. Предложение и клауза // Введение в общий синтаксис. — М.: РГГУ, 2001. — С. 229–268.
10. Батура Т. В. Математическая лингвистика и автоматическая обработка текстов // РИЦ НГУ. — 2016. — С. 166.
11. Волков Е. А. Метод определения тональности отзывов на русском языке с учётом иронии. Выпускная квалификационная работа бакалавра. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021 г.
12. Dolbin A., Rozaliev V., Orlova Yu., Ulyev A. Automating the Detection of Sarcastic Statements in Natural Language Text / Advances in Automation, pp.1185-1194. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-39225-3_124.
13. Хеламбаге Г. Классификатор токсичных комментариев с использованием обработки естественного языка и машинного обучения. Выпускная квалификационная работа бакалавра. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021 г.

БЛОГГИНГ КАК ФОРМА САМОВЫРАЖЕНИЯ И ОБЩЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Смагина И.А., Соколов А.В.
МО, г.Клин, АНО ВО «ИИТЭМ»
iitem@yandex.ru

В статье анализируются блоггинг как средство распространения информации в интернет-пространстве и его влияние на аудиторию, принципы монетизации блоггинга и его влияние на формирование массового сознания.

Ключевые слова: блог, блогера, монетизация, массовое сознание

Blogging as a form of self-expression and communication in the modern world. Smagina I.A., Sokolov A.V., MO, Klin, ANO VO "IITEM"

The article analyzes blogging as a means of disseminating information in the Internet space and its impact on the audience, the principles of monetization of blogging and its influence on the formation of mass consciousness.

Keywords: blog, blogger, monetization, mass consciousness

Развитие информационного пространства и внедрение информационных технологий в современную жизнь индивидуумов привело к распространению блоггинга как средства навигации в информационном поле. Человек расширяет рамки коммуникации за счет подписки на различные блоги, при этом не отдавая отчета о последствиях, приводящих к зависимости от источника получения информации. Следует заметить, что информация, распространяемая в блогах, напрямую зависит от блоггера, цель которого не только привлечь внимание аудитории, но и заработать на этом внимании, и самым безопасным с точки зрения воздействия на человека являются включаемые в трансляцию рекламные ролики.

Эффект, который производит на слушателя подписка в блоги в настоящее время не до конца изучен, хотя многие блоггеры используют методы воздействия на аудиторию на основе применения известных методов, в том числе методов психоанализа и различных воздействий на психику человека. Таким образом, необходимость регулирования сферы блоггинга становится очевидной в целях сохранения здоровья нации и реальных, исторически сложившихся в нашем обществе человеческих ценностей.

Широкое распространение блоггинга связано с человеческой потребностью в общении, которое расширяется в условиях информационного пространства, при этом индивидуум привык доверять

распространяемой публично информации и массово использует ее без анализа адекватности и правдивости получаемой информации, что позволяет легко манипулировать людьми, особенно молодежной аудиторией. Другой причиной является простота создания блога как места общения и то, что каждый из блогеров как правило формирует свою аудиторию выбирая конкретную сферу интересов, будь то кулинария или общение любителей животных (например, собак или кошек).

Развитие современных средств и методов работы с информацией (фото, аудио, видео и пр.) позволяет представлять контент в привлекательной форме что также усиливает интерес аудитории и привлекает новых подписчиков.

Анализ посещаемости различных блогов и количества подписчиков показывает устойчивый интерес аудитории к подобной информации. В данной статье анализируется степень влияния размещения злободневных материалов на мало раскрытые сайты.

На рис. 1 приведены рейтинги сайтов (в том числе поддерживаемых блоггерами), в которых рассматриваются вопросы обучения.

Обучение [Россия, сегодня] 📊 Статистика группы, 3 524 сайтов












1	 ГДЗ 92%	237 211
2	 Сайт для интересующихся высшим образованием 93%	61 570
3	 Комсомольская правда: Я знаю 86%	28 809
4	 ГДЗ по английскому языку 1-11 класс 92%	23 611
5	 Студопедия — Ваша школопедия 81%	19 518
6	 Поступи инфо 95%	18 242
7	 Русьюторс 91%	17 491
8	 Русский язык 79%	16 546
9	 СтудИзба 79%	13 971
10	 Грамматический и морфемный словари русского языка 78%	10 063
11	 Интернет-сообщество учителей 83%	9 456

Рисунок 1 – Статистика групп интернет-ресурсов по вопросам образования
Данные <http://https://www.liveinternet.ru/rating/ru/education/>

Анализ результатов обработки статистики посещения различных групп посетителей и подписчиков одного из популярных блогов приведен на рис.2.

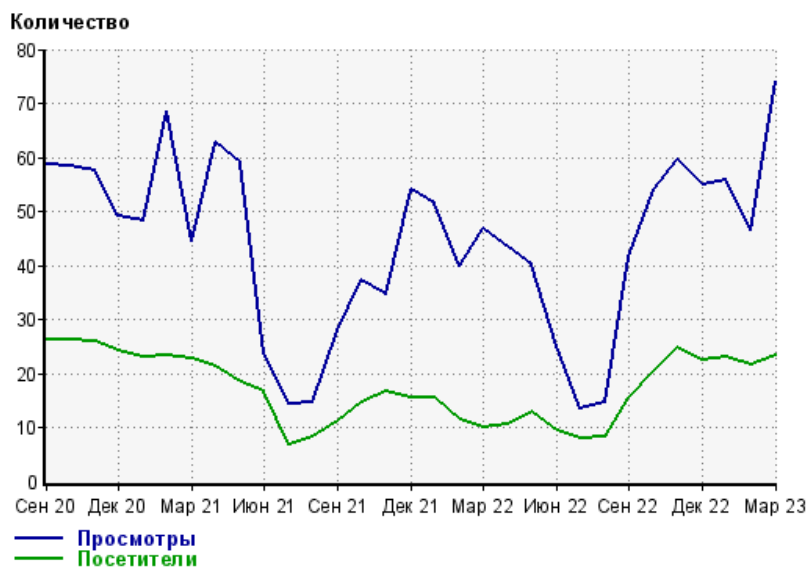


Рисунок 2 – Динамика кривых посещаемости и просмотров блога
Данные счетчика <https://www.liveinternet.ru>

Приведенные данные подтверждают активное посещение пользователями блоггерских Интернет-ресурсов.

Войдя в нашу повседневную жизнь блоггинг из средства получения некоторой информации превратился в способ манипулирования сознанием и методом создания массовых информационных технологий воздействия на человеческую психику, при этом широкое развитие сетевого взаимодействия обеспечивает возможность создания направленного воздействия на аудиторию.

В целом, если рассматривать современное состояние и развитие блоггинга в нашей стране, можно констатировать, что в основном блоггинг используется как средство получения информации конкретного содержания и является скорее одним из способов оперативного получения интересующей человека информации. Однако нельзя забывать, что сформированная исторически доверчивость общества к получаемой из внешних источников информации, а также огромная в количественном отношении масса сетевой информации дезориентирует человека как получателя подобной информации.

Легкость сетевого доступа к информации порождает также эффект «нахлебничества», т.е. возможность узнать новое, не прилагая серьезных усилий, не подвергая проверке опытным путем достоверности полученных знаний. «Облегчение» получения информации ведет к в определенном смысле к деградации личности, формированию поверхностного отношения к знаниям.

Можно привести множество примеров воздействия блоггеров особенно на молодежную среду, когда такое влияние формирует инфантильные качества молодежи, отсутствие развития личности и ее способности к самореализации и самосовершенствованию.

Часто задачей блоггера является возможность заработать на интересе аудитории, и следовательно он интерпретирует подаваемую информацию для достижения максимального воздействия на аудиторию, подчас манипулируя и подтасовывая факты, что вводит в заблуждение слушателей. С другой стороны, возникновение блоггинга как явления, свидетельствует о потребности общества в методах навигации в информационном пространстве и дефиците таких средств.

Отсюда вытекает тот факт, что блоггинг как средство навигации во все более расширяющемся информационном пространстве является выражением потребности общества в развитии подобных средств, и, значит, он может использоваться массовым образом как навигатор в информационном пространстве. Именно поэтому необходимо развивать блоггинг, привлекая для этих целей не просто каких-то людей, а подготовленных специалистов, способных не только заинтересовать аудиторию, но и создать общественно значимый, развивающий наше государство контент, формирующий гражданские ценности на основе научных знаний и мировоззрений.

Молодежная аудитория является наиболее подверженной новым веяниям и влиянию извне, поэтому использование блоггинга необходимо при работе с ней, что позволит в наглядной форме, на используемом молодыми языке пропагандировать знания, культуру и науку и формировать активную творческую среду для развития ее талантов и способности к самореализации.

Блоггинг также может служить средством объединения молодежи на решении жизненно важных задач общества и государства.

На рис. 3 представлены сведения о количестве подписчиков популярных блоггеров, представляющих сведения о проведении специальной военной операции (сервис RUTUBE).

<i>Имя Блога</i>	<i>Количество подписчиков</i>	<i>Количество посещений</i>
Подольяка Юрий	528622	38,4 тыс.
Михаил Онуфриенко	129536	14,6 тыс
Wargonzo	26420	384
Пролив Сталина	8097	5,04 тыс
Саня во Флориде	345223	273 тыс.
Юрий из Монреаля, где правда (youtube)	214000	100иыс.

Рисунок 3 – Сведения о блогах и блоггерах

Таким образом, суммируя вышеизложенное, можно констатировать, что блоггинг как средство общения и средство самовыражения в условиях современного сетевого пространства получает все большее распространение и становится существенным фактором, влияющим на формирование массового мировоззрения, а значит становится методом ведения идеологической борьбы, и его надо активно использовать в целях воспитания и просвещения.

Литература

1. Касперский Е. Блогеры и цензура //Бизнес-журнал. 2010. №9 (174)
<https://cyberleninka.ru/article/n/blogery-i-tsenzura>

2. Стародубцев В.А., Горохова Л.А., Киселёва А.А. Блоги в учебном процессе // Народное образование. 2011. №4. <https://cyberleninka.ru/article/n/blogi-v-uchebnom-protsesse>
3. Салин П. Б. Механизмы и каналы медиаманипулирования массовым политическим сознанием // Политическая наука. – 2017. – №. 1. – С. 242-252
4. Кин Д. Демократия и декаданс медиа. – Litres, 2021. С.49, С.117
5. Lippmann W. Public opinion. - N.Y.: Harcourt, Brace and company, 1922. - 427 p
6. Статья на сайте газеты DeutscheWelle. URL: <https://www.dw.com/ru/кто-они-сепаратисты-в-донбассе/a-17734093>
7. Информационный портал «Война в Украине». URL: <https://war.ukraine.ua/ru/myr-podderzhyvaet-ukraynu/>
8. Epstein R. How Google could rig the 2016 election // Politico. – Arlington, 2015. – 19 August. – Mode of access: <http://www.politico.com/magazine/story/2015/08/howgoogle-could-rig-the-2016-election-121548> (Accessed 04/17/2023)

КРЕПЛЕНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УГЛА НАКЛОНА ПРИ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ПАТОЛОГИИ

Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А., Кукушкин А.Н., Плотникова Е.Ю.*, Васильев Ю.А.*
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

* ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет»
+79603186310, timurashkina@mail.ru

В статье предлагается специальное медицинское приспособление для удобного крепления на лбу пациента модернизированного маятникового волоконно-оптического датчика угла наклона (ВОДУН) аттенуаторного типа при проведении диагностических измерений при челюстно-лицевых патологиях. Предложенный новый вариант устройства крепления ВОДУН на лбу пациента позволил снизить составляющую инструментальной погрешности измерения - погрешность взаимодействия ВОДУП с объектом измерения с 30 до 3 %. Исключены неприятные ощущения у пациента при установке датчика на лбу за счет возможности регулировки размеров приспособления по вертикали и горизонтали и применения специальных смягчающих прокладок между телом пациента и ободом приспособления.

Ключевые слова: приспособление, крепление, волоконно-оптический датчик, угол наклона, аттенуатор, инструментальная погрешность, челюстно-лицевая патология

Fiber optic tilt sensor mount in case of maxillofacial pathology. Murashkina T.I., Badeeva E.A., Kukushkin A.N., Plotnikova E.YU.*, Vasiliev YU.A.*, Penza State University, * Kuban State Medical University

The article proposes a special medical device for convenient attachment of an upgraded pendulum fiber-optic inclination angle sensor (FOIAS) of the attenuatory type on the patient's forehead during diagnostic measurements in maxillofacial pathologies. The proposed new version of the FOIAS attachment device on the patient's forehead made it possible to reduce the component of the instrumental error of the interaction of the FOIAS with the measured object from 30 to 3 %. Discomfort for the patient when installing the sensor on the forehead is eliminated due to the ability to adjust the dimensions vertically and horizontally and the use of special cushioning pads between the patient's body and the rim of the device

Keywords: adaptation, mounting, fiber-optic sensor, angle of inclination, attenuator, instrumental error, maxillofacial pathology

Введение

Для выполнения неинвазивных диагностических процедур различных заболеваний в последнее время все чаще используют оптические методы измерений. Это в полной мере относится и к диагностике челюстно-лицевых патологий (ЧЛП) [1, 2, 3, 4, 5].

Известно, что изменение линейного или углового положения характерных точек на голове, лице, шее человека говорит о той или иной ЧЛП [6, 7] (рисунок 1).

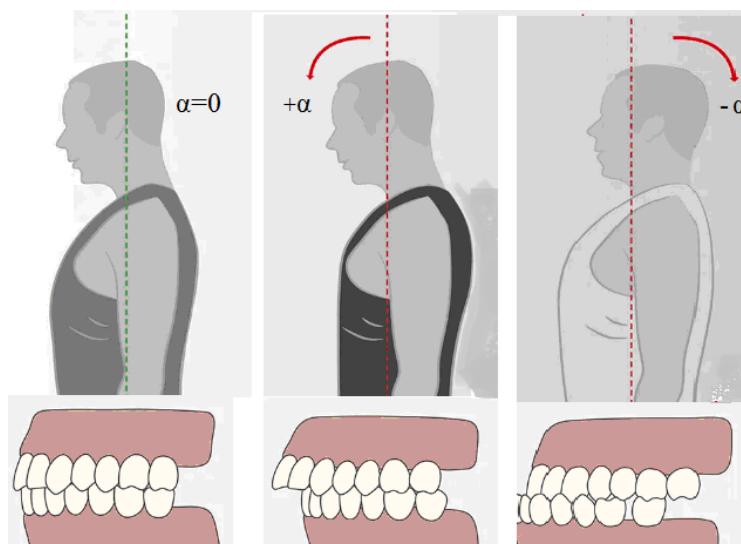


Рисунок 1 – Изменение угла наклона головы при ЧЛП

При морфометрических измерениях определяется отклонение координат точек и линий на лице пациента от координат точек и линий, принятых за норму. За линию симметрии лица принимают вертикаль, проведенную через место пересечения срединной плоскости с лобно-носовым швом (точка *n*-назион) [8].

С помощью волоконно-оптического датчика угла наклона (ВОДУН) будем определять угловые отклонения координат точек от вертикали. Если угол наклона головы 0...2 градуса - то норма, если 2...5 градусов - то дизокклюзия 1 класса, если 5...10 градусов - дизокклюзия 2 класса, если 10...15 градусов - дизокклюзия 3 класса (класс дизокклюзии уточняется в процессе набора статистики по результатам клинических измерений).

Для измерения углового положения этих точек необходимо применить средства измерений угла наклона, в частности можно использовать техническое решение ВОДУН маятникового типа с предельным аттенуатором медицинского назначения, сведения о котором приведены в работах [9,10].

К основным критериям ВОДУН головы пациента отнесены:

- 1) диапазон измерения угла наклона 0,5...25 градусов;
- 2) основная погрешность не более 2 %;
- 3) составляющая инструментальной погрешности взаимодействия ВОДУН с объектом измерения (тело пациента) не более 3 %;
- 4) дополнительная погрешность, обусловленная изгибами оптических волокон, не более 1 %;
- 5) отсутствие неприятных ощущений у пациента при установке на лбу пациента;
- 6) возможность регулировки при установке на лбу пациента с разными морфометрическими параметрами.

Ввиду того, что принцип действия рассматриваемого ВОДУН основан на явлении гравитации и, соответственно, сохранении вертикального положения маятника при отклонении объекта, на котором он установлен, то неточная установка датчика на голове пациента ведет к большим погрешностям измерения до 30 %.

Для использования ВОДУН в диагностических системах для измерения морфометрических параметров лица пациента при ЧЛП необходимо датчик установить на голове пациента таким образом, чтобы минимизировать инструментальную погрешность - погрешность взаимодействия средства измерений с объектом измерений [11].

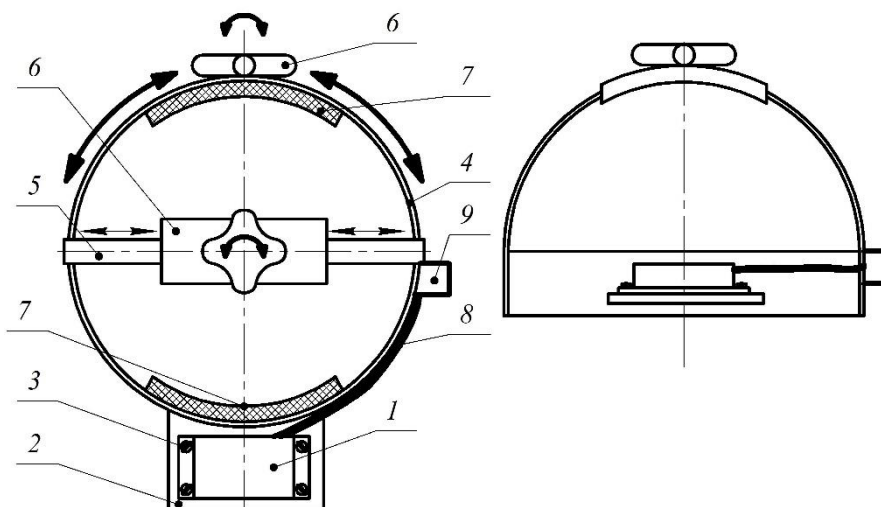
Цель работы – снижение погрешности взаимодействия ВОДУН с телом пациента при использовании в диагностической системе измерения морфометрических параметров лица пациента при ЧЛП.

Методы и подходы

Для достижения поставленной цели необходимо соответствующим образом установить на голове пациента ВОДУН. Для этого предлагается новое специальное приспособление, обеспечивающее правильную установку ВОДУН.

Результаты

Датчик предлагается крепить на лбу пациента на достаточно простом специальном приспособлении, показанном на рисунке 2.



1 - датчик угла наклона; 2 - платформа; 3 - винты для крепления датчика к платформе;
4,5 – ободки, регулируемые по голове (параллель и меридиан соответственно); 6 - механизм
регулирования по голове; 7 - мягкие прокладки; 8 – волоконно-оптический кабель датчика; 9 –
согласующее устройство с электрическим разъёмом

Рисунок 2 –Новый вариант крепления ВОДУН на лбу пациента

Приспособление включает ободок, который регулируется как по диаметру, так и по высоте головы. Датчик 1 устанавливается на легком выступе в виде платформы 2, расположенной в передней части ободка. Волоконно-оптический кабель 8 датчика протягивается вдоль ободка 4 до согласующего устройства 9 с электрическим разъёмом. Если работа с датчиком осуществляется в зоне, где есть электромагнитные установки, то волоконно-оптический кабель может быть большой длины и согласующее устройство вынесено на безопасное расстояние.

Перед началом измерения пациент должен принять положение тела стоя, соответствующее углу наклона, равному нулю, опершись спиной о вертикальную стену. О правильности положении судят по выходному сигналу ВОДУН, соответствующему нулевому положению.

В процессе измерения пациент принимает свободное положение, при этом меняется угол наклона головы, соответственно меняется положение корпуса датчика относительно горизонта. Но, виду того, что в датчике реализован маятниковый принцип действия, маятник сохраняет свое вертикальное положение под воздействием силы гравитации [9, 10]. В отличие от известных маятниковых датчиков в данном ВОДУН маятник выполняет дополнительную функцию оптико-модулирующего элемента. Для этого в верхней части маятника, где он крепится на валу, выполнено сквозное круглое отверстие, размер которого соизмерим с размером сердцевины оптического волокна (рисунок 3) [9, 10].

Через отверстие свет от подводящего оптического волокна (ПОВ) поступает на два отводящих оптических волокна (ООВ) первого и второго измерительных каналов. Отверстие позиционируется относительно торцов оптических волокон таким образом, что при угле наклона головы, равном нулю, световой поток засвечивает входные торцы оптических волокон двух каналов одинаково, а при достижении максимального значения угла наклона в диапазоне измерения, торец одного канала засвечен максимально, а второго остается незасвеченным. По ООВ световые потоки приходят на приемники излучения двух измерительных каналов, где преобразуется в электрические сигналы [9].

При изменении угла наклона морфометрических точек на лице пациента относительно горизонта изменяется ход лучей относительно отверстия в маятнике (рисунок 4) [10]. За счет этого можно изменять мощность излучения, поступающего на приемник излучения по отводящему из зоны измерения оптическому волокну.

Для визуализации вертикального положения пациента в начале измерения предполагается на предлагаемом приспособлении закрепить уровень, который существенно упростит процесс измерения для врача.

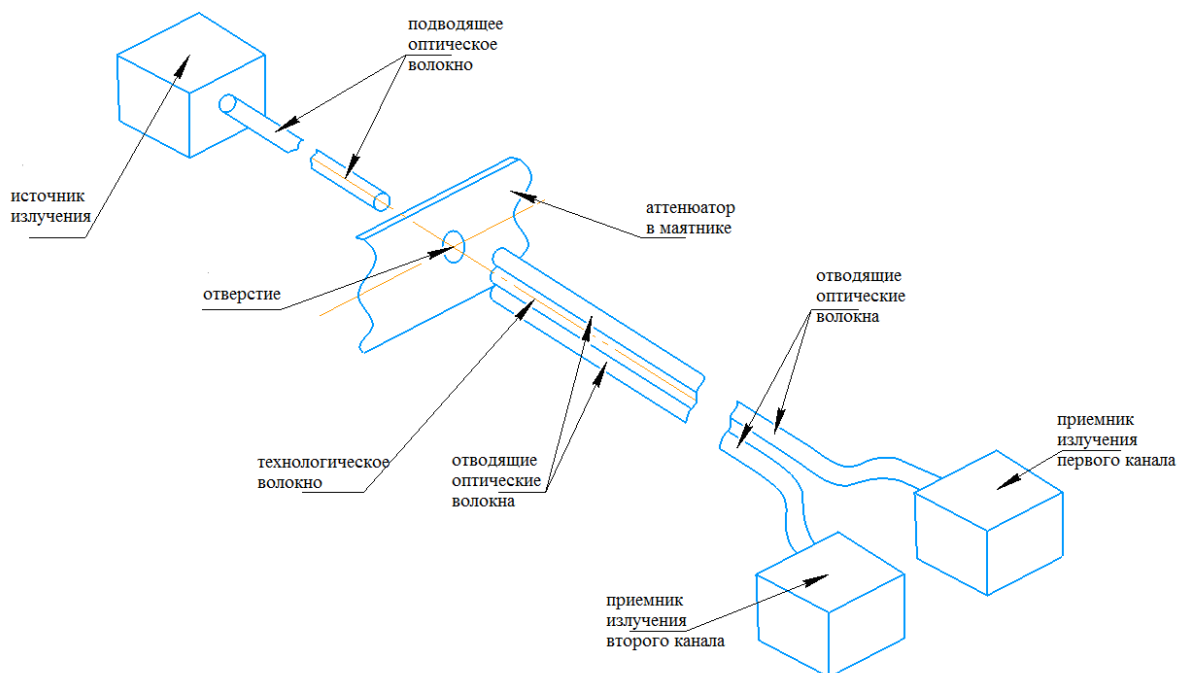


Рисунок 3 – Оптическая система ВОДУН маятникового типа

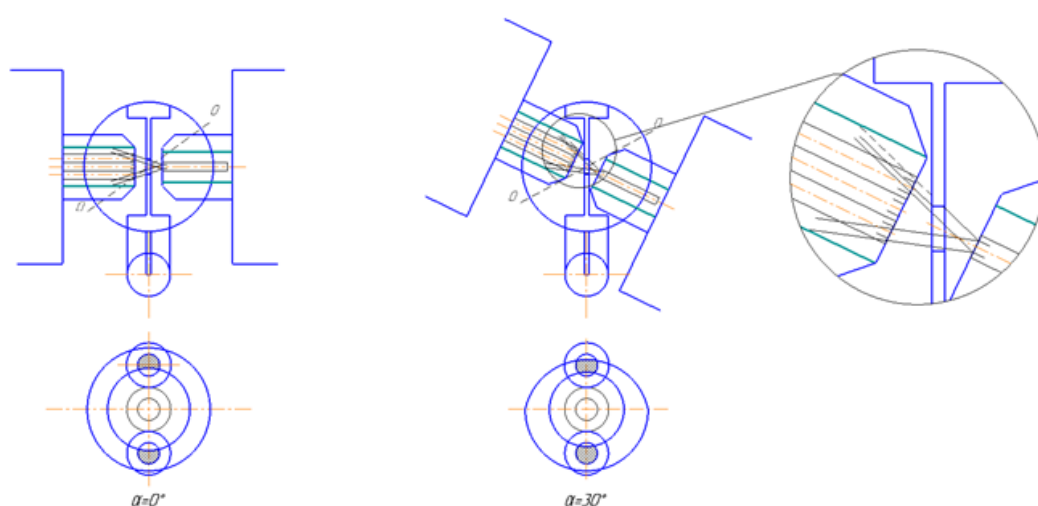


Рисунок 4 – Ход лучей при измерении угла наклона морфометрических точек на лице пациента относительно горизонта

Заключение

Предложенный новый вариант устройства крепления ВОДУН на лбу пациента позволит снизить составляющую инструментальной погрешности взаимодействия ВОДУП с объектом измерения (тело пациента) до 3 %.

Исключены неприятные ощущения у пациента при установке датчика на лбу за счет возможности регулировки размеров по вертикали и горизонтали и применения специальных смягчающих прокладок между телом пациента и ободом приспособления.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда в виде гранта № 22-15-20069 (<https://rscf.ru/project/22-15-20069/>).

Литература

1. Оптическая биомедицинская диагностика: в 2 т. Т.1 / пер с англ. под ред. В.В. Тучина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 560 с.

2. Дунаев А.В., Жеребцов Е.А., Рогаткин Д.А. Методы и приборы неинвазивной медицинской спектrophотометрии: пути обоснования специализированных медико-технических требований // Приборы. – 2011. – № 1 (127). – С. 40-48.
3. Tarasov A.P., Shteflyuk M.E., Rogatkin D.A. Theoretical Substantiation of the Possibility of Performing Non-Damaging UV Diagnostics of Biological Tissues In Vivo// Photonics. 2023. 10(12), 1289
4. Тучин В.В. Оптическая биомедицинская диагностика [Текст] / В.В. Тучин // Известия Саратовского университета. 2005. Т.5. Сер. Физика. – Вып. 1. – С. 39 – 53
5. Рогаткин Д.А. Физические основы оптической оксиметрии // Медицинская физика. – 2012. – № 2. – С. 97- 114.
6. Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Серебряков Д.И., Васильев Ю.А., Хасаншина Н.А., Славкин И.Е. Волоконно-оптическая диагностическая система аномалий челюстно-лицевой области на основе датчиков давления // Материалы V Межд. Конф. «Современные нейрокибернетические технологии в реабилитации и развитии когнитивных способностей человека» (СНТРЧ-2020). МГГЭУ. С. 90-95.
7. Взаимосвязь между стоматогнатической системой и положением тела. Март 2009 [Клиники \(Сан-Паулу, Бразилия\)](#) 64 (1):61-6 DOI: [10.1590/S1807-59322009000100011](#)
8. [A Nobili, R Adversi, Relationship between posture and occlusion: a clinical and experimental investigation/Cranio, 14 \(1996\), pp. 274-285, CrossRefView Record in ScopusGoogle Scholar.](#)
9. Кукушкин А.Н., Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Серебряков Д.И., Бадеев В.А. Волоконно-оптический маятниковый датчик угла наклона. Патент на изобретение РФ 2807094 // Оpubл. 09.11.2023. Бюл. № 31.
10. Кукушкин А.Н. Разработка волоконно-оптического датчика наклона // Вестник Пензенского государственного университета. 2021. №3. С.89-94
11. Мурашкина Т.И. Техника физического эксперимента и метрология. *Учеб. пособие.* – СПб.: Политехника, 2015 - 138 с.

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ТЕСТИРОВАНИЕМ ПО В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КОМАНДАХ

Гнеушев В.А.

Волгоградский Государственный Технический Университет
+7 (961) 685-88-73, vladgne@yandex.ru

В данной статье были описаны проблемы автоматизированного тестирования и проведен анализ существующих подходов к тестированию. Для решения обозначенных проблем предложен метод управления автоматизированным тестированием ПО в распределенных командах на основе анализа результатов тестов. Авторы проводят серию экспериментов по анализу текста ошибок в смоук тестах, которые представляют собой базовые и критические тесты для проверки функциональности системы. Авторы собрали данные о неудачных (failed) тестах, включая их идентификаторы, описания ошибок и стеки вызовов, и применили различные алгоритмы анализа текста для классификации ошибок. Результаты анализа были оценены с использованием метрики точности, а также была учтена интерпретируемость результатов и их соответствие реальным ошибкам. Эксперименты позволили выбрать наиболее эффективный алгоритм анализа текста ошибок, что привело к улучшению процесса обработки ошибок и повышению качества разработки ПО. Метод осуществляет анализ ошибок, возникающих в процессе тестирования, и группирует их по сходству. В результате работы метода формируются задачи в системе управления проектами Jira. На каждую группу ошибок создается отдельная задача, что позволяет распределенным командам фокусироваться только на уникальных проблемах и эффективно их решать. Для успешной реализации этого метода было спроектировано, разработано и внедрено специальное ПО. Разработанная программа позволяет назначать задачи распределенным командам тестировщиков и управлять процессом тестирования. Предложенный метод значительно повышает эффективность работы распределенных команд по тестированию ПО, улучшает процесс обработки ошибок и повышает качество процессов разработки и поддержки ПО.

Ключевые слова: тестирование ПО, анализ результатов тестирования, управление автоматизированным тестированием, распределенные команды.

A method for managing software automated testing in distributed teams. Gneushev V. A., Volgograd State Technical University.

This article described the problems of automated testing and the existing approaches to testing. To solve these problems, proposed a method for managing software automation testing based on the analysis of test results for distributed teams. The authors performed a series of experiments to analyze the text of errors in smoke tests,

which are basic and critical tests to test the functionality of the system. The authors collected data on failed tests, including test IDs, error descriptions, and stacks-trace, and applied various text analysis algorithms to classify errors. The results of the analysis were evaluated using the accuracy metric, also the interpretability of the results and their relevance to real errors were also taken into account. The experiments made it possible to choose the most effective error text analysis algorithm, which led to an improvement in the error-handling process and an increase in the quality of software development. The method analyzes errors that occur during testing and groups them according to their similarity. As a result of the method, tasks are formed in the Jira project management system. A separate task is created for each group of errors, which allows distributed teams to focus only on unique problems and solve them effectively. For the successful implementation of this method, special software was designed, developed, and implemented. The developed program allows assigning tasks to distributed teams of testers and managing the testing process. The proposed method significantly increases the efficiency of distributed software testing teams, improves the error handling process, and improves the quality of software development and support processes.

Keywords: software-testing, analysis of test results, automated testing management, distributed teams.

Введение

Тестирование программного обеспечения является неотъемлемой частью разработки и поддержки программных продуктов. Это процесс, который позволяет проверить работоспособность и соответствие программы заявленным требованиям.

В настоящее время все более широкое применение получают автоматизированные тесты. Они позволяют значительно ускорить процесс тестирования, повысить его эффективность и надежность. Автоматизация тестирования позволяет автоматически выполнять повторяющиеся тестовые сценарии, обнаруживать ошибки и дефекты, а также улучшать качество программного обеспечения.

Важность автоматизированного тестирования заключается в том, что оно помогает выявить проблемы и ошибки еще на ранних этапах разработки, что позволяет сэкономить время и ресурсы на их исправление. Кроме того, автоматизированные тесты позволяют повысить надежность и стабильность программного продукта, а также обеспечить его соответствие требованиям заказчика. [1]

В данной статье мы рассмотрим несколько проблем, возникающих в современных процессах и подходах тестирования программного обеспечения, применение автоматизированных тестов, а также способы их решения [2].

Проблемы автоматизированного тестирования

В процессе автоматизации тестирования возникают различные сложности и проблемы [2].

Особо стоит выделить сложность организации работы распределенных команд в процессе автоматизации тестирования. В современных условиях разработки программного обеспечения все чаще используются распределенные команды, которые находятся в разных географических локациях. В международных компаниях зачастую это разные страны с разными часовыми поясами. Это дает свои преимущества. Отличным примером является процесс непрерывной разработки, поделённый между тремя локациями с разницей примерно 8 часов, как это показано на рисунке 1. Если в Лос-Анджелесе в 10:00 часов по местному времени начнется рабочий день команды, и к 18:00 часам будет реализована новая версия ПО, то её можно передать в тестирование членам команды из Токио, у которых как раз начался рабочий день. К окончанию рабочего дня в Токио начинают работать члены команды из Европейского региона чтобы доставить новую версию ПО массовому потребителю. По окончании рабочего дня в Европейском регионе начинается рабочий день в Лос-Анджелесе. Таким образом, процесс разработки идет непрерывно.



Рисунок 1 – Пример организации непрерывной разработки распределенной командой по разным локациям и часовым поясам

Подобный процесс применяется в больших проектах и платформах, где существует разделение зон ответственности по командам, например, команда ценовых политик, команда авторизации и интеграции, команда пользовательского интерфейса, команда экспорта, импорта и хранения данных и пр.

В таких случаях представители всех команд и ролей присутствуют в каждой локации. Однако, такая организация процессов разработки ПО создает дополнительные трудности в организации совместной работы и координации усилий, а также в обеспечении эффективного обмена информацией и результатами тестирования.

Еще одной проблемой, связанной с большим объемом отчетов с результатами тестирования, является сложность быстрого анализа этих результатов. Если тестирование занимает несколько дней, то отчеты содержат огромное количество информации, которую нужно проанализировать. Это потребует значительных усилий и времени со стороны тестировщиков или разработчиков, чтобы выделить основные проблемы и принять решения по их исправлению.

В объемных отчетах инженеры сталкиваются с проблемой классификации ошибок. При наличии одного дефекта на начальном этапе бизнес процесса системы отчеты содержат неудачные тесты из разных модулей. При этом тексты ошибок тестов, которые попадут в отчет, могут значительно отличаться друг от друга, не смотря на общую причину. Поэтому на определение причины неудачи теста потребуется большее количество времени.

Кроме того, если тестирование происходит по несколько раз в день, то отчеты также генерируются часто. Это создает проблему в быстром анализе результатов, особенно если нет автоматизированных инструментов для обработки и фильтрации информации. В таких случаях возникает риск упустить важные проблемы или тенденции, которые повлияют на качество разрабатываемого приложения.

Все эти проблемы приводят к задержкам в исправлении ошибок и повышению качества приложения. Поэтому важно разработать эффективные стратегии коммуникации и использовать автоматизированные инструменты для быстрого анализа результатов тестирования, особенно в случае работы распределенных команд тестировщиков [3].

Анализ существующих подходов к тестированию

Подход к тестированию ПО [4] для распределенных команд, с учетом большого объема результатов тестирования представлен на рисунке 2 и включает следующие этапы:

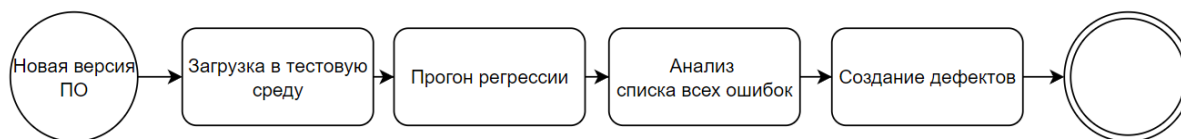


Рисунок 2 – Схема существующего метода тестирования ПО

1. Загрузка в тестовую среду:

- все команды в рамках проекта должны иметь доступ к общей тестовой среде, где загружается версии тестируемого ПО;
- если инженеры находятся в разных часовых поясах, необходимо учитывать время загрузки новой версии ПО в тестовую среду. А также согласовывать процесс загрузки с тестировщиками и другими инженерами, которые работают на данном проекте;
- важно иметь механизмы проверки целостности и правильности загружаемого ПО перед запуском тестов;

2. Запуск регрессионного набора тестов:

- все команды в рамках проекта должны иметь общий набор регрессионных тестов, который будет выполняться после каждой загрузки новой версии ПО. Это применяется для проверки работоспособности всей системы, а не только измененного модуля или сервиса;
- этот набор тестов должен быть автоматизирован программно для ускорения процесса выполнения;
- если команды находятся в разных часовых поясах, необходимо учитывать время выполнения тестов и согласовывать этот процесс.

3. Анализ результатов тестирования:

- все команды в рамках проекта должны иметь общую систему для анализа результатов тестирования, где они просматриваются и сравниваются результаты тестов;
- если команды используют различные инструменты и системы, необходимо найти способы синхронизации и обмена информацией;
- важно иметь автоматизированные инструменты для фильтрации и классификации результатов тестирования, чтобы быстро определить проблемные области.

4. Создание задач для исправления дефектов:

- все команды в рамках проекта должны иметь общую систему для создания задач для исправления дефектов, где они описывают и отслеживают проблемы, выявленные в процессе тестирования;
- важно иметь стандарты и шаблоны для описания дефектов, чтобы обеспечить однородность и понятность информации.

Разработка нового метода управления автоматизированным тестированием ПО

Для эффективного управления всеми этапами тестирования ПО для тестирования распределёнными командами с учетом большого объема результатов тестирования рекомендуется использовать следующие подходы:

Регулярные встречи и обсуждения между командами для согласования планов и обмена информацией.

Использование облачных сервисов для общей тестовой среды и системы управления дефектами.

Автоматизация процессов загрузки, выполнения тестов, анализа результатов и создания задач для исправления дефектов.

Установление четких ролей и ответственностей для каждой команды, чтобы избежать дублирования работы и конфликтов.

Все эти меры помогут ускорить процесс анализа результатов тестирования, улучшить коммуникацию и снизить риски задержек в исправлении проблем.

Метод управления автоматизированным тестированием ПО для распределенных команд и большого объема результатов тестов включает следующие этапы:

1. Сбор всех ошибок в тестах. На этом этапе собирается информация о найденных ошибках в процессе тестирования. Для составления отчетов о запуске автоматизированного набора тестов используются полноценные системы управления тестами, специальные отчетные сервисы или расширения для других систем. Доступ к ошибкам, которые находятся в отчетах, можно получить с помощью API. [5]

2. Предварительная обработка текста ошибок. После сбора ошибок текст каждой ошибки проходит предварительную обработку. Это включает удаление лишних пробелов, специальных символов, приведение к нижнему регистру и т. д. Это позволяет унифицировать формат ошибок для дальнейшего анализа.

3. Разбиение ошибок по группам. На этом этапе ошибки анализируются и разбиваются по группам в зависимости от их характеристик. Мы можем заранее задать необходимые группы. Если же в результате анализа выясняется, что ошибка не подходит ни к одной из групп, то создается новая. Это помогает в дальнейшем анализе и позволяет сосредоточиться на конкретных классах проблем.

4. Анализ ошибок в тестах. На этом этапе происходит более детальный анализ каждой группы ошибок. Проводится поиск ключевых слов, проверка наличия логов с ошибками тестируемой системы. Этот шаг позволит предварительно определить причину падения.

5. Создание задач в Jira для каждой группы ошибок. После анализа ошибок команды создают задачи в системе управления дефектами, например, в Jira. В каждой задаче описывается ошибка, шаги воспроизведения из теста, указывается метки, компоненты и другие данные, которые можно получить из теста. Также назначается ответственный за исправление ошибки.

6. Назначение задач тестировщикам в распределенных командах. Это позволяет отслеживать прогресс в исправлении ошибок и обеспечивает более удобную коммуникацию, а также решает проблему проверки одной ошибки несколькими тестировщиками [6].

В целом, данный метод позволяет эффективно управлять процессом тестирования ПО для распределенных команд и большого объема результатов тестирования. Это позволяет быстро выявлять и устранять проблемы, улучшать качество ПО и сокращать время, затрачиваемое на тестирование. Схема метода представлена на рисунке 3.

Для реализации ключевого - третьего - этапа была поставлена задача определить метод, подходящий для анализа текста ошибок автоматизированных тестов и их дальнейшей классификации.

Текст ошибки автоматизированных тестов – несколько строк, содержащих класс ошибки, общее описание ошибки, параметры выполняемого действия и стек трассировки функции, которая выполняла действие теста, прочие данные о системе.

Класс ошибок характеризует действие, которое окончилось неудачей. Эти классы повторяются в больших отчетах и не несут конкретики о самой ошибке, потому нет смысла фокусироваться на их анализе. Сравнение стека трассировки может дать хороший результат, если структура фреймворка с автотестами построена определенным образом и содержит уникальные функции проверок и взаимодействий. Однако, данное решение не является универсальным. Поэтому самым универсальным и оптимальным вариантом является сравнение именного общего описания ошибки.

Для решения поставленной задачи была проведена серия экспериментов с использованием различных методов анализа и сравнения текстов.

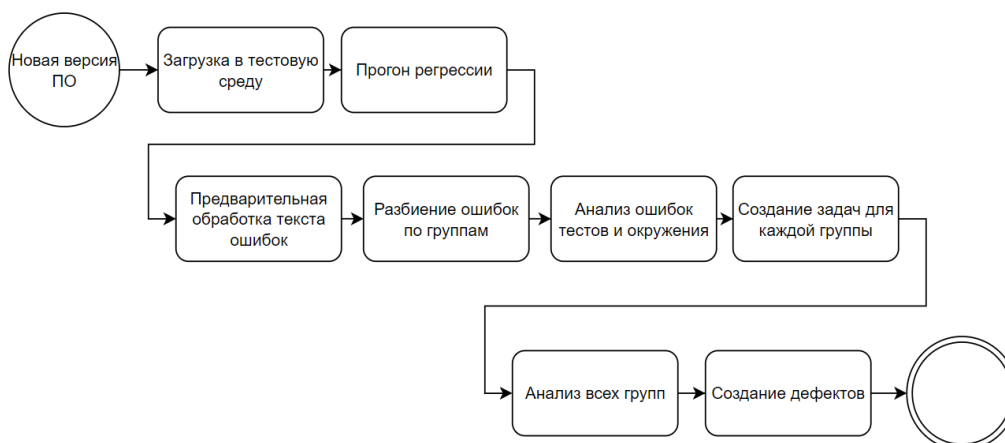


Рисунок 3 – Схема метода управления автоматизированным тестированием ПО в распределенных командах

Методы анализа и сравнения текстов

Проверка идентичности. Метод посимвольно проверяет 2 сообщения, если все символы совпадают, то сообщения считаются идентичными и относятся к одной группе.

Недостатком метода является необходимость дополнительной обработки сообщений, так как они содержат идентификаторы сущностей, которыми оперируют. Следовательно, одна и та же ошибка, возникшая при работе с разными сущностями будет отнесена в разные группы, что является неверным.

Проверка вхождения. Метод посимвольно проверяет 2 сообщения, если вся последовательность символов из первого сообщения имеется во втором сообщении, то сообщения относятся к одной группе.

Для данного метода также необходима предварительная обработка сообщений. Однако, он верно определяет вхождение одной ошибки в набор из нескольких ошибок.

Мера Жаккара. Мера Жаккара или коэффициент сходства – это мера, основанная на использовании информации о множестве общих символов. Считается она как отношение количества уникальных символов в двух множествах (букв в словах) к общему числу уникальных символов в двух множествах (словах) [7].

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (1)$$

Недостатком данного метода также необходима предварительная обработка сообщений, но в значительно большем объеме, так как тексте ошибки присутствует как минимум класс ошибки, а иногда и тип элемента, вызвавшего ошибку. Поэтому ошибки с одинаковым классом относятся к одной группе.

Коэффициент Танимото. Еще один способ определения меры схожести двух множеств. Коэффициент Танимото рассчитывается по следующей формуле [8]:

$$T = \frac{N_c}{N_a - N_b - N_c} \quad (2)$$

где T – сам коэффициент, который принимает значения от 0 до 1 (чем ближе к 1, тем больше сходство между множествами), N_a – количество элементов в первом множестве, N_b – количество элементов во втором множестве, N_c – количество общих элементов в обоих множествах.

Обладает аналогичным недостатком, как и мера Жаккара.

Экспериментальный выбор метода анализа текста ошибок тестирования

В экспериментах был использован один и тот же набор неудачных (failed, «падение») smoke-тестов (Smoke tests [9]). Smoke - тесты являются набором базовых и наиболее критических тестов, которые проверяют основные функциональности системы.

Первым шагом был сбор данных об неудачных тестах. Записи о каждом неудачном тесте, включая его идентификатор, описание ошибки и стек вызовов, брались из системы управления тестами. Эти данные использовались в дальнейшем для анализа текста ошибок.

Затем были применены различные алгоритмы анализа текста для обработки ошибок. Каждый алгоритм генерировал результаты в виде категорий ошибок.

После получения результатов анализа текста, проводилось сравнение и оценка эффективности каждого алгоритма. Для этого использовалась метрики точности. Также принимались во внимание

интерпретируемость результатов и их соответствие реальным ошибкам. Для экспериментов был взят отчет smoke тестов. Отчет содержал 56 тестов, 25 из которых завершились неудачно.

Эксперименты проводились с применением различными методами сравнения текстов (таб.1). Точность в Таблице 1 вычисляется по следующей формуле:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^G \frac{R_i}{N_i}}{G} \quad (3)$$

где A – точность определения принадлежности ошибок к группам, R_i - количество релевантных ошибок в группе, N_i - количество ошибок в группе, G - количество групп.

Таблица 1 – Результаты экспериментов метода

Метод	Количество групп в шт.	Точность определения принадлежности ошибок к группам в %
Проверка идентичности	4	20
Проверка вхождения	5	45
Мера Жаккара	2	0
Коэффициент Танимото	1	0

В итоге, эксперименты позволили оценить эффективность различных алгоритмов анализа текста ошибок и выбрать наиболее подходящий метод - проверки вхождения. Это позволило улучшить процесс обработки ошибок и повысить качество анализа.

Архитектура решения

Решение было реализовано в виде консольного приложения на языке Java 8 с применением Lombok и Jira-SDK. Архитектура решения представлена на рис. 4. Для автоматизированного анализа информации программа разделена на 3 модуля и 2 подсистемы [10].

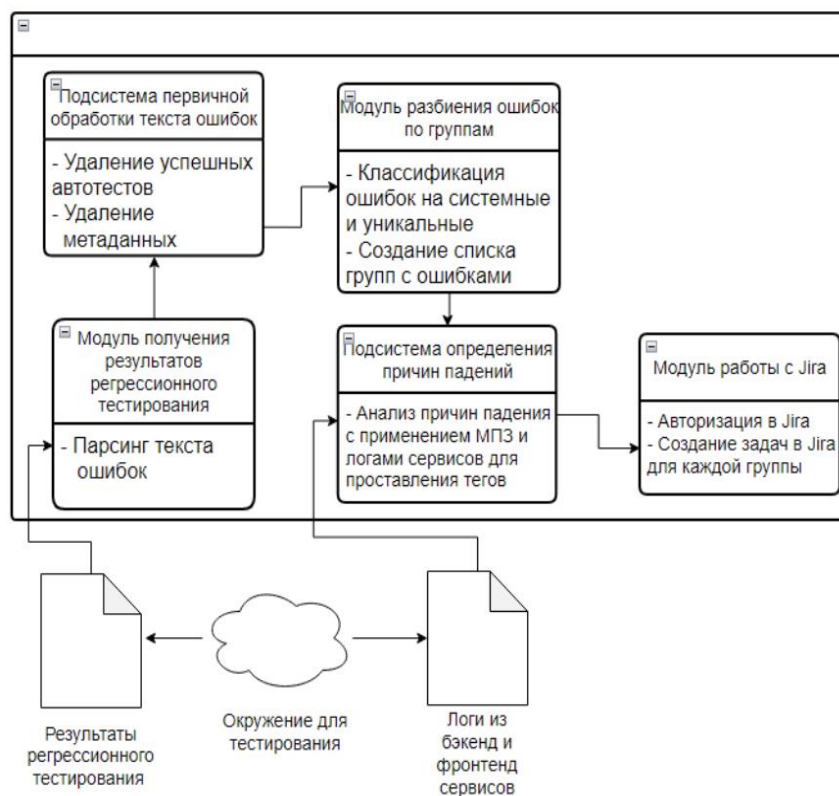


Рисунок 4 – Архитектура программы для автоматизированного анализа результатов тестирования в распределенных командах

Заключение

В ходе проведения серии экспериментов по анализу текста ошибок в Smoke - тестах были получены следующие выводы:

1. Анализ текста ошибок позволяет эффективно обрабатывать и классифицировать ошибки, что является важным шагом для повышения качества разработки.
2. Различные алгоритмы анализа текста были применены и оценены с использованием метрики точности. Это позволило выбрать наиболее эффективный алгоритм для обработки ошибок.
3. Интерпретируемость результатов анализа и их соответствие реальным ошибкам были учтены при оценке результатов. Это гарантирует, что выбранный алгоритм будет достаточно точным и полным при обработке ошибок.
4. Проведение экспериментов несколько раз с варьированием параметров алгоритмов обеспечивает надежность результатов и позволяет выбрать оптимальные параметры для анализа текста ошибок.
5. В результате экспериментов был выбран наиболее эффективный алгоритм анализа текста ошибок, что привело к улучшению процесса обработки ошибок и повышению качества разработки.

Таким образом, анализ текста ошибок в Smoke - тестах является эффективным инструментом для повышения качества разработки. Результаты экспериментов подтверждают, что выбранный алгоритм проверки вхождения обладает высокой точностью при обработке ошибок. Это позволяет разработчикам быстрее и точнее выявлять, и исправлять проблемы, что в конечном итоге приводит к улучшению качества разрабатываемой системы.

В результате был разработан программный продукт, позволяющий назначать задачи распределенным командам тестировщиков и управлять процессом тестирования.

Литература

1. Галимова Е.Ю. Метод оценки затрат на применение автоматизированного тестирования программного продукта. Научно-технический вестник Поволжья. 2019;(10):27–29.
2. Артюхова А.С. Проблемы автоматизации тестирования и подходы к их решению. CETERIS PARIBUS. 2016; (10). Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-avtomatizatsii-testirovaniya-i-podhody-k-ih-resheniyu> (дата обращения: 23.08.2023).
3. Данилов А.Д., Мугатина В.М. Решение задачи оптимизации регрессионного тестирования с использованием нейросетевого подхода. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020;8(1). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/02/DanilovMugatina_1_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.28.1.032.
4. Галимова Е.Ю., Белов С.В. Модель информационно-советующей системы поддержки принятия решения при выборе способа тестирования программного обеспечения. Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020;(3):52–60.
5. Fomenkova M., Korobkin D., Kravets A.G., Fomenkov S. Extraction of Knowledge and Processing of the Patent Array. Communications in Computer and Information Science. 2019;1084:3-14. DOI: 10.1007/978-3-030-29750-3_1. EDN UQSWAK.
6. Кравец А.Г., Сальникова Н.А., Силантьев А.И. Redmine-ориентированный подход для автоматического распределения задач в области автоматизации промышленных проектов. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2021;59(85):113-120. DOI: 10.36807/1998-9849-2021-59-85-113-120. EDN OMUZRH.
7. Жбанкова Е.А. Алгоритмы распознавания схожести текста в вопросно-ответных системах. Актуальные исследования. 2020;9(6):11-15. Доступно по: <https://apni.ru/article/543-algoritmi-gaspoznaniya-skhozhести-teksta> (дата обращения: 23.08.2023).
8. Белова К.М., Судаков В.А. Исследование эффективности методов оценки релевантности текстов. Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2020;(68). Доступно по: <http://doi.org/10.20948/prepr-2020-68>
9. International Software Testing Qualifications Board Glossary. Доступно по: <https://istqb-glossary.page/> (дата обращения: 25.07.2022).
10. Устинов А.В., Охтилев М.Ю. Архитектура программного обеспечения распределенной систем обработки данных при автоматизированном анализе информации. I-methods. 2018;(2). Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-programmnogo-obespecheniya-raspredelennoy-sistem-obrabotki-dannyh-pri-avtomatizirovannom-analize-informatsii-1> (дата обращения: 17.05.2022)

О ПОДХОДАХ К ДЕТЕКЦИИ ЮМОРА В ТЕКСТАХ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

Бугаенко А.П., Волкова Л.Л.
МГТУ им. Н. Э. Баумана
+7 (499) 263-68-08, andreibugaenko2012@mail.ru, liliya@bmstu.ru

В данной работе представлен анализ предметной области детекции юмора в текстах на естественном языке. Рассмотрены основные подходы к классификации текстов на предмет содержания юмора на основе применения результатов анализа текста. Подходы разбиты на два класса по рассмотрению различных признаков текстов, извлеченных посредством “поверхностного” и “глубокого” анализа текста. Проведен сравнительный анализ, рекомендуется основанный на шаблонах подход, что позволит извлечь глубинные признаки текстов при помощи синтаксического и семантического анализа.

Ключевые слова: юмор, детекция юмора, автоматическая обработка текстов на естественном языке, автоматическая классификация текстов.

On approaches to humor detection in natural language texts. Bugaenko A.P., Volkova L.L. Bauman Moscow State Technical University.

This paper presents an analysis of the subject area of humor detection in natural language texts. Key approaches are considered to texts classification by humor presence on the basis of text analysis results. The given approaches are divided into two classes due to considering various text features extracted via “superficial” and “deep” text analysis. A comparative analysis has been carried out; a template-based approach is recommended, which would allow extracting deep features of texts via syntactic and semantic analysis.

Keywords: humor, humor detection, natural language processing, automatic text classification.

Введение

Программы, реализующие основанную на сценариях коммуникацию с человеком на ограниченном естественном языке, используются в социальной сфере, в сфере автоматических обучающих программ, в качестве автоматических консультантов в сфере торговли для автоматизации ответов на первичное множество вопросов клиентов и в других областях. Такие программы также относят к классу «искусственных собеседников». Они становятся все более распространенными и находят применение в широком спектре областей от образования до промышленности [1].

Юмор является неотъемлемой частью человеческой жизни и играет важную роль в социальном взаимодействии. С его помощью снижается стресс, разряжается обстановка в коллективе и демонстрируется интеллектуальность и уровень экспертизы [2]. Поэтому в контексте человеко-машинного взаимодействия на естественном языке становится актуальной задача детекции юмора в текстах на естественном языке. Примеры применимости методов детекции и классификации юмора в составе методов и программного обеспечения по автоматизации различных процессов: в современной медиасфере для автоматической оценки текстов редакторами перед выпуском текстов в СМИ различной направленности; для повышения качества работы методов оценки тональности текстов, в т. ч. отзывов; для автоматической разметки больших корпусов текстов на естественном языке, в том числе необходимых для машинного обучения, в частности, для современных текстовых генеративных моделей как отдельного массового класса программ.

Юмор

Юмор — информация, в результате получения которой человеку становится смешно [3]. Межличностная коммуникация часто мультимодальна: она включает интонацию, мимическую и жестовую составляющие и, собственно, текст. В данной работе текст будет рассматриваться как унимодальный источник юмора, прочие моды находятся вне рамок текущего изыскания.

Существует несколько теорий, объясняющих юмор. Из них основными являются теория превосходства, теория разрядки и теория несоответствия [4]. Рассмотрим определения юмора, соответствующие данным теориям.

— *Теория превосходства*: основным механизмом юмора является ощущение и желание превосходства над остальными членами группы, на которую юмор направлен.

— *Теория разрядки*: юмор возникает в точке повествовательной развязки, не корреспондирует с основной частью сказанного, воспринимаемого серьезно.

— *Теория несоответствия*: юмор возникает в результате наблюдения двух и более нелогичных, несоответствующих или нелепых частей, или обстоятельств, рассматривающихся как объединенные в одном объекте или группе [3].

В контексте рассматриваемой задачи можно выделить два основных подхода — бинарная классификация и мультиклассовая. В первом случае определяется, содержит ли текст юмор или нет [6], во

втором, помимо содержания юмора в тексте, определяется его тип и набор различных характеристик [7]. Базово задача детекции юмора в текстах на естественном языке сводится к определению того, к какому множеству принадлежит анализируемый текст, и рассматривается как задача классификации [5].

Существует ряд стандартных методов классификации [8], и весь вопрос состоит в выборе материала для классификации — признаков текстов на естественном языке. Они могут быть извлечены посредством методов различной сложности и различной «глубины погруженности» в материал текста — методов «поверхностного» и «глубокого» анализа текста.

Об извлечении признаков текстов на естественном языке

Для различных структурных уровней текста используются соответствующие этапы анализа [8].

1. Уровень слов: морфологический анализ — получение леммы и морфологических параметров слова [8]. В контексте задачи детекции юмора на этом уровне могут решаться подзадачи получения леммы (начальной формы) слова, части речи слова и других морфологических параметров.

2. Уровень предложения — синтаксический анализ. Его задачей является представление предложения в виде синтаксической структуры, такой как дерево зависимостей или дерево непосредственных составляющих или частичного синтаксического анализа [9]. В контексте задачи детекции юмора с помощью синтаксического анализа могут решаться следующие подзадачи: разрешение анафоры, выделение связей между словами предложения, выделение словосочетаний внутри текста.

3. Уровень текста: семантический анализ — этап установления смысловых отношений между словами текста и объединения языковых выражений, относящихся к одному и тому же понятию [9]. В контексте задачи детекции юмора на данном этапе решаются следующие подзадачи: определение тональности текста, определение темы текста, выделение логических связей в предложении, выделение логических связей на уровне различных предложений, построение цепочек состояний.

Перевод текста в пространство признаков — важный этап процесса классификации текста, так как от этого во многом зависит качество работы классификатора. Существуют *базовые подходы*, основывающиеся на гипотезе «мешка слов», на текстовых n -граммах и на дистрибутивной семантике.

Подходы, основывающиеся на гипотезе «мешка слов», являются наиболее простыми для решения задачи перевода текста в пространство признаков. Гипотеза «мешка слов» утверждает, что порядок слов не важен для определения тем документа. В результате игнорируется структура предложения и семантические связи между его частями. В большей части реализаций каждое слово представляется как вектор бинарного кодирования, размером равный размеру словаря. Это приводит к проблемам: чем больше размер словаря, тем больше размер вектора. Поэтому в современных вариантах «мешка слов» используют гибридные подходы: в векторе используют вторичные признаки, что позволяет сократить его длину. Часто используемый вторичный признак — частота появления слова в обрабатываемом тексте. Здесь применимы расчет терм-документной частоты, метод главных компонент, вероятностное тематическое моделирование и неотрицательная матричная факторизация [10].

Подходы на основе языковых моделей используются для получения векторных представлений текста, предсказывая следующий элемент последовательности слов. Распространенным подходом такого рода являются n -граммы, в основе которых лежит следующее допущение: предполагается, что вероятность каждого следующего слова зависит только от последовательности слов длины n , идущих перед ним. За счет этого можно представлять слова аналогично тому, как это делается в подходах, основывающихся на гипотезе «мешка слов». При этом получается вектор, имеющий длину меньше, чем размер словаря [10]. *Эмбедингом* слова называется n -мерный вещественный вектор, отражающий позицию слова в семантическом пространстве. В отличие от предыдущих подходов, использовавших только представления самих слов, эмбединги базируются на дистрибутивной семантике, что позволяет извлечь семантические связи между словами и построить на их основе представление слова. Для этого при создании эмбедингов учитывается контекст в виде окружающих слов. Это приводит к тому, что качество эмбедингов фактически напрямую зависит от корпуса, на основе которого они создаются. Еще одной особенностью эмбедингов является низкая интерпретируемость, связанная с неявным получением информации о семантических связях [10].

Подход Word2Vec использует нейросети для анализа текста чтобы создать многомерный вектор для анализируемого слова. Существует две основных вариации Word2Vec — CBOW (Continuous-bag-of-words) и continuous skip-gram. CBOW решает задачу получения представления, предсказывая слово на основе окружающих его контекстных слов. Continuous skip-gram решает задачу наоборот, предсказывая контекст на основе представляемого слова.

Подход GloVe (Global Vectors for Word Representations) аналогичен Word2Vec, основное отличие состоит в том, что GloVe основан на подсчете количества слов, в то время как Word2Vec использует дистрибутивную семантику. Вместо построения предсказательной модели в подходе GloVe извлекаются семантические зависимости напрямую из статистики корпуса текста, на основе которого создаются эмбединги. За счет этого, в отличие от Word2Vec, GloVe может учитывать глобальную статистику.

Подход FastText является вариацией Word2Vec, работающей за счет учета морфологии слов. В прочих методах слова не разбираются на отдельные морфемы и как следствие информации о морфологических связях разных слов игнорируется. В FastText каждое слово представляется как «n-грамма мешка символов» — набор последовательностей символов, составляющих слово. FastText применяет подход skip-грамм (n-грамм с пропусками), однако из-за особенностей представления результирующий вектор слова является суммой n-грамм для его морфем. Важной особенностью работы метода является то, что с помощью него можно получать эмбединги для слов, которых не было в словаре, что невозможно сделать с помощью Word2Vec и GloVe [10].

Все описанные выше методы извлечения признаков из текста можно некоторым образом отнести к поверхностным: извлекается статистика употребления слов, их кортежей (n-грамм), рассчитываются частоты и вероятности совместного и последовательного их употребления. Однако язык недостаточно описать одной лишь статистикой (как известно, *одной из форм лжи*). Засим рассмотрим методы извлечения признаков на основе шаблонов, использующих в качестве входных данных результаты не только одного морфологического этапа анализа текста, но и синтаксического и семантического.

Об извлечении признаков текстов на основе лексико-синтаксических шаблонов и правил

Суть подхода заключена в использовании лексико-синтаксических шаблонов. Классификация текста выполняется по данным о наличии в тексте шаблонов соответствующего класса. Стандартным методом обработки текста с помощью шаблонов является разбор текста с помощью грамматики, или набора правил. Преимуществом грамматик являются детерминированность работы и возможность глубокого анализа текста при использовании правильных шаблонов. К недостаткам относят высокую вычислительную сложность и необходимость экспертной работы по составлению шаблонов и [10].

Шаблоны возможно разработать для каждой из упомянутых выше теорий юмора.

Так, в случае теории превосходства необходимы правила или семантическая сеть, описывающие отношения между сущностями. Правила поверх формального описания отношений позволят определять, что субъект или группа субъектов А противопоставлена субъекту или группе субъектов Б, а по анализируемому тексту, из которого выделены сущности (возможно, именованные), возможно извлечь последовательность происходящих действий, к которым также применимы правила. Так, группа А может выиграть у группы Б по некоторому показателю, может выставить группу Б не в лучшем свете и т.п.

Применение теории разрядки позволит повысить комфортность человеко-машинной коммуникации с диалоговой системой, выполняющей развлекательную или социальную функцию [11]. Как и в случаях применения формул вежливости [12] и иных диалоговых стратегий роботами- и программами-собеседниками [13, 14], следует выполнять апробацию разработанной стратегии с привлечением к человеко-машинной коммуникации респондентов: в подобных задачах их мнение на предмет уместности, приятности, человекоподобности стратегий и элементов поведения является решающим. Так, при фоновом отслеживании специализированной подсистемой [15] состояния контекста беседы возможно разрядить обстановку шуткой при достижении контекстом беседы определенного состояния — или же в условиях принципиальной возможности шутки и при детектировании в тексте многозначности, которая может послужить отправной точкой для шутки («*Кстати!*...»). В числе факторов, влияющих на выбор шутки и её возможность, смена ролей и контекста в диалоге и полилоге, ограничения, связанные с нормой языка и составом участников беседы, глагодвигательные и выражаемые посредством других мод (каналов) взаимодействия сигналы о передаче инициативы в беседу, а также смена фокуса внимания [11, 16–18].

В рамках теории несоответствия возможно детектировать использование в анализируемом тексте многозначных слов в различных смыслах. Пример типового случая: «Штирлиц шёл ночью, с трудом разбирая дорогу. Наутро сообщили, что дорога разобрана». Здесь глагол «разбирать» многозначен, на этом построен юмор данного анекдота. Следует заметить, что составленные правила возможно применять в разных задачах: определение, смешон ли входной текст, позволит выбрать класс реакции (как на шутку или как на серьезную реплику); фоновая детекция юмора в беседе позволит подключить вспомогательную стратегию определения дальнейшего русла беседы — выразить радость (улыбнуться), отметить удачную шутку словом или же рассказать другой анекдот в тему.

О детекции в тексте юмора согласно теории несоответствия

В контексте данной задачи классификация видов юмора в текстах на естественном языке проводится с точки зрения того, каким образом возникает логическое несоответствие, порождающее юмор. Здесь необходим как минимум синтаксический анализ текста, как максимум — семантический. Следующие 4 вида порождения являются основными [3]: семантическое и структурное несоответствие без учета контекста (абсурд) и семантическое и структурное несоответствие с учетом контекста.

Отдельно стоит выделить тип порождения, связанный с “двойным отрицанием”, когда воспринимающий юмор корректно определяет подразумеваемый юмор (например рассказ про Петьку

и Василия Ивановича обычно подразумевает юмор) однако логических несоответствий не возникает, что с учетом контекста ожидания наличия юмора в тексте порождает логическое несоответствие [3]. Особенностью такого юмора является то, что подобное отрицание может происходить несколько раз подряд в различных комбинациях. Следует также учитывать, что когда говорится про логическое несоответствие, имеется в виду логическое несоответствие, которое нельзя или сложно было предсказать из контекста шутки, поскольку именно в таком случае получается юмор.

Согласно теории несоответствия, юмор в тексте возникает при неожиданном появлении или отсутствии логической связи, которое не смог предсказать тот, на кого был направлен юмор. Данное правило является общим для большинства видов юмора. Для создания метода на его основе требуется построение модели, обладающей достаточным количеством информации об окружающем мире, сфере, к которой относится юмор, и возможностью выстраивать и анализировать логические цепочки как по смыслу, так и по виду текста в случае, если юмор заключается в изменении формы слов. Построение подобной модели — сложная и ресурсоёмкая задача: так, для обучения модели Llama 2 потребовалось 184,320 часов обучения на кластере из 8 видеокарт A100, что в результате стоило около 760 000 долларов [19]. В переводе на рубли по среднему курсу мая 2024 года это составляет 68 400 000 рублей.

В результате оптимальнее будет заранее выделить логические несоответствия, порождающие юмор, и анализировать текст на их наличие. Это позволит сократить время и количество анализируемых данных, требующихся для создания модели, увеличить скорость работы метода за счет отсутствия необходимости построения контекста и получить легко интерпретируемый результат. Основной проблемой использования классических методов и методов, основанных на глубоком обучении состоит в том, что в конечном счете они используют статистику, полученную из данных, использованных для обучения. Это приводит к тому, что они ограничены этим набором данных и для того, чтобы расширить возможности модели необходимо ее дообучать на новых данных. Второй проблемой является то, что данные методы не имеют возможности учитывать логическую составляющую юмора как следствие сильное изменение контекста может привести к получению неправильных результатов.

Несмотря на вариативность юмористических текстов, в большинстве случаев непредсказуемое логическое несоответствие, порождающее юмор, остается одно и то же. В результате некоторую часть юмористических текстов можно классифицировать по тому, каким образом возникает логическое несоответствие и по специфике контекста юмора. Примером такой классификации является разделение анекдотов по категориям относительно основных признаков сущностей, которые в них используются: анекдоты про жену, про мужа, про железнодорожников и т.д. Такое разделение возможно потому, что сущности определяют свойства, которые могут применяться для создания логического несоответствия. Поскольку в большей части случаев число данных свойств ограничено, число ситуаций и способов их применения также ограничено. В результате возникает набор юмористических текстов, описывающих одну и ту же ситуацию, но с использованием разных сущностей, относящихся к подмножеству общей сущности, предоставляющей свойства, используемые для получения логического несоответствия [3].

Выделение общей структуры анекдотов зависит от того, насколько специфичен контекст шутки, поскольку его конкретизация сужает количество возможных ситуаций. С другой стороны, если контекст слишком широк, то юмор перестанет быть понятным [3]. В результате текстовый юмор содержит спектр различных форм: от уникальных, настолько зависящих от контекста и конкретной ситуации, что другие вариации анекдота невозможны, до шаблонизированных, где определенные сущности и действия могут быть заменены без потери логического несоответствия и, как следствие, юмора.

Заключение

Рекомендуется применять основанный на шаблонах подход: это позволит извлечь глубинные признаки текстов — их смысл — при помощи синтаксического и семантического анализа.

Методы детекции юмора в практическом применении также связаны с детекцией токсичных комментариев [20] и со снятием неоднозначностей, основанных на юморе и сарказме и связанных с оценкой тональности текстов, в том числе отзывов о товарах, заведениях, услугах [21–22].

Литература

1. Yu S., Xiong J., Shen H. The rise of chatbots: the effect of using chatbot agents on consumers' responses to request rejection / *Journal of Consumer Psychology*. — 2024. — №34. — Pp. 35–48.
2. Telli B.S., Hoicka E. Humor and social cognition: Correlational and predictive relations in 3- to 47-month-olds / *Cognitive Development*. — 2022 — № 64:101245.
3. Attardo S. *Linguistic Theories of Humor* — Berlin: Mouton de Gruyter, 1994. — 426 p.
4. Lazebna O., Bezzubova O., Kotvytska V., Bakhov I. Humour from a linguistic perspective: the problem of classification / *Revista EntreLinguas*. — 2022. — №8. — Pp. 1–12.

5. Ahuja V., Bali T., Singh N. What makes us laugh? Investigations into automatic humor classification // Nissim M., Patti V., Plank B., Wagner C. (eds) Proc. of the Second Workshop on Computational Modeling of People's Opinions, Personality, and Emotions in Social Media. — New York: ACL, 2018. — Pp. 1–9.
6. Annamoradnejad I., Zoghi H. ColBERT: Using BERT sentence embedding in parallel neural networks for computational humor / ArXiv [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2004.12765> (дата обращения: 06.01.2024).
7. Peyrard M., Borges B., Gligorić K., West R. Laughing heads: can transformers detect what makes a sentence funny? // Zhou Z.-H. (ed.) Proceedings of the Thirtieth International Joint Conference on Artificial Intelligence. — IJCAI, 2021. — Pp. 3899–3905.
8. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных: учеб. пособие / Большакова Е.И., Воронцов К.В., Ефремова Н.Э., Клышинский Э.С., Лукашевич Н.В., Сапин А.С. — М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017. — 269 с.
9. Аношин П.И. Автоматический анализ текстов. Синтаксический и семантический анализ / Евразийский научный журнал. — 2017. — №6. — С. 211–213.
10. Gasparetto A., Marcuzzo M., Zangari A., Albarelli A. A Survey on text classification algorithms: from text to predictions / Information. — 2022. — №13.
11. Волкова Л.Л. О диалоговых системах и классификации их функциональности // Проблемы лингвистики и лингводидактики в неязыковом вузе: 5-я Международная научно-практическая конференция (Москва, 15–16 декабря 2022 года): сборник материалов конференции : в 2 т. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»; Факультет «Лингвистика» МГТУ им. Н. Э. Баумана; Ассоциация технических университетов России и Китая. — М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. — Т. 1. — С. 43–49.
12. Malkina M., Zinina A., Arinkin N., Kotov A. Multimodal hedges for companion robots: a politeness strategy or an emotional expression? // Selegey, V.P., et al. (eds.) Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Papers from the Annual International Conference “Dialogue”, issue 22. — Moscow: RSUH, 2023. — Pp. 319–326.
13. Velichkovsky B.M., Kotov A., Arinkin N., Zaidelman L., Zinina A., Kivva K. From social gaze to indirect speech constructions: how to induce the impression that your companion robot is a conscious creature / Applied Sciences. — 2021. — Vol. 11(21):10255. — Pp. 1–19.
14. Volkova L., Kotov A., Ignatev A. Crowdsourcing-based approbation of communicative behaviour elements on the F-2 robot: perception peculiarities according to respondents / Studies in Computational Intelligence, LNCS 1130. — Cham: Springer, 2024. — Pp. 932–945. — DOI: 10.1007/978-3-031-50381-8_101.
15. Волкова Л.Л., Кивва К.А., Котов А.А., Аринкин Н.А. Об архитектуресистемы обработки мультимодальных входных воздействий на искусственного аффективного собеседника Ф-2 // Сознание, тело, интеллект и язык в эпоху когнитивных технологий: Тезисы докладов Первой всероссийской конференции «Сознание, тело, интеллект и язык в эпоху когнитивных технологий (MBIL-2023)», 28–30 сентября 2023 г., Пятигорский государственный университет / отв. ред. В.А. Лекторский. — Пятигорск: изд-во ПГУ, 2023 г. — С. 26–27.
16. Jokinen K., Furukawa H., Nishida M., Yamamoto S. Gaze and turn-taking behavior in casual conversational interactions / ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems. — 2013. — № 3 vol. 2. — Pp. 12:1–12:30. — New York: ACM, 2013.
17. Padilha E.G., Carletta J.C. Nonverbal behaviours improving a simulation of small group discussion // Proc. of the 1st International Nordic Symposium of Multi-Modal Communication. — Heidelberg: Springer, 2003. — Pp. 93–105.
18. Healey P.G.T., Battersby S.A. The interactional geometry of a three-way conversation // Proc. 31st Annual Conference of the Cognitive Science Society. — Austin: Cognitive Science Society Inc., 2009. — Pp. 785–790.
19. LLM Training and GPU Memory Requirements: Examples [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vitalflux.com/llm-gpu-memory-requirementsexamples/> (дата обращения 13.05.2024).
20. Хеламбаге Г. Классификатор токсичных комментариев с использованием обработки естественного языка и машинного обучения. Выпускная квалификационная работа бакалавра. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021 г.
21. Волков Е. А. Метод определения тональности отзывов на русском языке с учётом иронии. Выпускная квалификационная работа бакалавра. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021 г.
22. Dolbin A., Rozaliev V., Orlova Yu., Ulyev A. Automating the detection of sarcastic statements in Natural Language Text // Radionov A.A., Karandaev A.S. (eds) Advances in Automation. Proceedings of the International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019, September 8–14, 2019, Sochi, Russia. LNEE 641. — Cham: Springer, 2020. — Pp.1185–1194.

О ПОДХОДАХ К УЧЕТУ ТЕМПЕРАМЕНТА В ДИАЛОГОВЫХ ПРОГРАММАХ

Волкова Л.Л., Комаров Н.С.
МГТУ им. Н. Э. Баумана
+7 (499) 263-68-08, liliya@bmstu.ru, kom.niki@mail.ru

Статья рассматривает понятие темперамента человека в свете задачи переноса особенностей реакций человека с заданным темпераментом на диалоговые программы. Описаны отличительные черты и типологии темпераментов человека. Представлены существующие подходы к моделированию темперамента: вероятностный, Карпова, на основе логического вывода, на основе языковой модели. Сделан вывод о перспективности аналитических детерминированных моделей, в т.ч. ввиду их интерпретируемости. Указано, что интерес представляет верификация модели на основе сетей Петри и опросов респондентов по итогам взаимодействия с программой, учитывающей модельный темперамент при формировании реакций на входные стимулы в беседе.

Ключевые слова: темперамент, диалоговые системы, аффективная составляющая коммуникации, человеко-машинные интерфейсы.

On approaches to considering temperament in dialogue software. Volkova L.L., Komarov N.S. Bauman Moscow State Technical University.

This article considers the notion of human temperament in the focus of the problem of transferring human reactions peculiarities into dialogue programs with condition of a given temperament. Typologies and distinctive traits of human temperaments are presented along with existing approaches to modelling temperaments: probabilistic, Karpov and those based on either logical inference or language models. Analytical determined models are pointed out as prospective, namely due to their interpretability. Petri net-based verification of a model is of interest, as well as that grounded on respondents surveys upon interaction with a program which accounts for a model temperament when forming reactions to input stimuli in conversation.

Keywords: temperament, dialogue systems, affective communication, human-machina interfaces.

Введение

Темперамент — характеристика индивида со стороны его динамических особенностей: интенсивности, скорости, темпа, ритма психических процессов и состояний. Основными компонентами данной характеристики являются активность и эмоциональность. Активность поведения характеризует степень энергичности, стремительности, быстроты и, наоборот, медлительности, инертности, а эмоциональность — особенности протекания эмоций, чувств, настроений и их качество [1]. Понятие темперамента было введено древнегреческим врачом Гиппократом [2], его теория называется гуморальной. Согласно этой теории, особенности поведения человека зависят от состояния его организма, в связи с чем Гиппократ выделял четыре основных типа темперамента: холерик (вспыльчивый, энергичный, эмоциональный), флегматик (спокойный, серьезный, малоэмоциональный), меланхолик (замкнутый, ранимый, задумчивый), сангвиник (жизнерадостный, активный).

Теория Гиппократа получила дальнейшее развитие в работах И. П. Павлова и Г. Айзенка, учитывающий психофизиологический аспект [3]. И. П. Павлов [4] описал физиологическую основу темперамента как тип высшей нервной деятельности, определяемый соотношением основных свойств нервной системы: силы, уравновешенности и подвижности процессов возбуждения и торможения. Слабый тип нервной системы наблюдается у меланхолика, сильный — у остальных темпераментов. Из них холерик обладает неуравновешенной нервной системой, сангвиник и флегматик — уравновешенной. При этом нервная система флегматика инертна, сангвиника — подвижна. Г. Айзенк в своей теории [5] выделял два основных, независимых фактора темперамента (две оси): интроверсия-экстраверсия и эмоциональная стабильность-нестабильность (нейротизм). На основе комбинаций значений этих факторов можно описать четыре типа темпераментов, как показано в таблице 1.

Таблица 1 – Типология темпераментов по Г. Айзенку

Темперамент	Интроверсия-экстраверсия	Эмоциональная стабильность
Меланхолик	Интроверсия	Низкая
Холерик	Экстраверсия	Низкая
Сангвиник	Экстраверсия	Высокая
Флегматик	Интроверсия	Высокая

Диалоговая система — это автоматизированная человеко-машинная система, взаимодействующая с пользователем на ограниченном естественном языке [6]. В базе своей данный класс программ ориентирован на понимание текстов и зачастую на диалоговое взаимодействие с оператором [7]. Такие

системы могут быть реализованы в виде голосовых ассистентов, роботов, чат-ботов, виртуальных помощников и иных приложений [8]. Отдельный класс диалоговых систем — роботы- и программы-собеседники, моделирующие аффективную составляющую восприятия входных воздействий и формирования ответных реакций на смысл входного высказывания [9–11] по аналогии с тем, как это делают люди. Такие проекты показывают определенные подвижки в достоверности поведения роботов и человеко-машинных интерфейсов: алгоритмически сформированное и воспроизведенное поведение оценивается респондентами как приятное и человекоподобное [12], по данным агрегации обратной связи о восприятии человеко-машинного взаимодействия в режиме повседневного и целеориентированного диалога. Замечено, что людям свойственно относиться к роботам как к участникам социальной активности и подсознательно присваивать им персональные черты [13]. Под персональными понимают те характеристики человека, которые находят отражение в устойчивых паттернах чувств, мышления и поведения [14]. Введение функциональности для воспроизведения свойственных различным темпераментам черт и особенностей реакций — одно из перспективных направлений в развитии диалоговых систем [15].

В данной работе будут рассмотрены известные алгоритмические подходы к моделированию темперамента в диалоговых системах, явно описывающие поведение системы в ответ на входные воздействия: подход на основе логического вывода, вероятностный подход, подход Карпова, подход на основе языковой модели, подход на основе большой языковой модели.

Подход на основе логического вывода

Данный подход использовался для разработки таких диалоговых систем, как ELIZA [16] и SHRDLU [17], и может быть адаптирован к применению в поставленной задаче. Кроме этого, современные голосовые ассистенты бывают реализованы гибридным методом: некоторые модули их программ реализованы с использованием логического вывода. Пример: AliMe Assist [18] проверяет запрос пользователя на соответствие шаблонам, и только если соответствие найти не удаётся, передаёт запрос классификатору, использующему алгоритмы машинного обучения. Данный подход основан на принципах логического программирования как, например, в языке Prolog [19]. Ответ на реплику пользователя ищется путём подбора применимого к запросу правила. Особенности данного подхода: (1) все параметры модели принимают значения из конечного множества, так как эти значения должны быть использованы в программе; (2) при одних и тех же параметрах модели и входном воздействии пользователя программа будет выдавать одинаковые результаты, т.е. подход детерминированный.

Вероятностный подход

Развивая идею предыдущего подхода, можно разработать алгоритм, который на внешнее воздействие формирует несколько вариантов возможного поведения — коммуникативных целей (КЦ), как в проекте Ф-2 [9]. Выбор КЦ из списка может быть осуществлён вероятностно, причём «вес» каждой КЦ зависит от моделируемого темперамента, возможно, комбинированного. Суть подхода сводится к вычислению значений функции вероятности, зависящей от внешнего воздействия на систему, от реакции системы и от внутренних параметров системы, на всей области определения функции. Данный подход не накладывает ограничений на модель темперамента. В работах [20–21] используется данный подход.

Подход Карпова

В. Э. Карпов в [22] использовал модель темперамента, основанную на типах нервной системы, выделенных Павловым. В данном подходе предполагается, что поведенческие реакции описываются двумя факторами: силой и балансом нервных процессов возбуждения и торможения. Описанная В. Э. Карповым модель темперамента включает параметр возбуждения, отвечающий за задержку реакции, и параметр торможения, отвечающий за длительность нахождения системы в заданном состоянии. Эти параметры используются как обратная связь в системе управления робота, по аналогии с примерами смены состояний решающего умственную задачу человека: человек проходит череду сменяющих друг друга состояний — от отвлечённого к повышенному состоянию внимания [23]. Типология темпераментов в терминах возбуждения и торможения представлена в таблице 2 и совпадает с типологией Г. Айзенка (см. табл. 1). В частности, исследована применимость различных темпераментов для агентов с различными ролями в многоагентной системе [23].

Таблица 2 – Типология темпераментов в терминах возбуждения и торможения

Темперамент	Возбуждение	Торможение
Меланхолик	Низкий	Низкий
Холерик	Высокий	Низкий
Сангвиник	Высокий	Высокий
Флегматик	Низкий	Высокий

Подход на основе языковой модели

Машинное обучение (англ. Machine Learning, ML) — это подраздел искусственного интеллекта, который изучает методы построения моделей и алгоритмов, которые позволяют алгоритмам «учиться», то есть извлекать знания из данных без явного программирования этих знаний [24]. Существует три основных типа машинного обучения [25]:

- обучение с учителем использует набор данных, организованных в виде коллекции размеченных пар вход–выход, где выход представляет целевой результат;
- обучение без учителя использует набор данных без разметки;
- обучение с подкреплением использует данные о состоянии «среды», а также «поощрение» и «наказание» за принятые решения (добавление и снятие очков целевой функции в аддитивном случае, домножение на коэффициент в мультипликативном случае).

Языковая модель — это статистическая модель, описывающая распределение вероятностей по последовательностям слов (или иных языковых единиц или их групп, например, n-грамм) в языке [26]. В данном подходе используется языковая модель на основе нейронной сети. Если нейронная сеть будет «обучена» на подходящем наборе данных, она сможет формировать ответы на запросы пользователя, генерируя текст с необходимой стилистической окраской. Стиль этого текста может быть сформирован на основе как имитации авторского стиля конкретного человека или литературного персонажа, так и особенностей, придуманных именно для заданной диалоговой системы. Таким образом, темперамент возможно задать, отобрав для обучающей выборки тексты авторов с ярко выраженным темпераментом.

Стоит отметить, что в данном подходе не обязательно «обучать» нейронную сеть с нуля. Вместо этого можно воспользоваться уже существующей языковой моделью и «дообучить» её, используя набор данных, специализированный под конкретную задачу. Данный подход используется в голосовых ассистентах, таких как Яндекс Алиса [27] и СяоАйс [28].

Разработчики Яндекс Алисы позиционируют её следующим образом: «Алиса — голосовой помощник с характером. Она умна, любопытна и любит пошутить. Алисе важно помогать людям, но она знает себе цену и не потерпит оскорблений. При этом и не опустится до хамства, когда ей грубят» [29]. СяоАйс — это китайский чат-бот, разработанный компанией Microsoft. Он способен поддерживать разговор с людьми, отвечать на вопросы, развлекать, шутить и проявлять эмпатию. СяоАйс может динамически распознавать эмоции и вовлекать пользователя в долгие разговоры, предлагая соответствующие межличностные реакции [30].

В составе данного подхода возможно отдельно выделить работу с большой языковой моделью (англ. Large Language Model, LLM). Это языковая модель, состоящая из нейронной сети с большой размерностью вектора параметров (миллиарды весовых коэффициентов и более), обученной на большом количестве неразмеченного текста с использованием обучения без учителя [31]. Преимуществом является отсутствие необходимости «дообучать» модель на дополнительном наборе данных. Вместо этого необходимо в запрос пользователя добавить дополнительную информацию, описывающую стиль ответа, соответствующий моделируемому темпераменту. Однако, не все существующие LLM могут быть использованы в данном подходе, так как не все они обладают необходимой глубиной обучения. На данный момент, реализовать данный подход позволяет GPT-4 [32]. В качестве примера может служить чат-бот Bing Chat от Microsoft [33], основанный на GPT-4. В нём реализован «режим знаменитости», в котором чат-бот подражает знаменитостям, копируя их манеру речи, «коронные» фразы, темперамент.

Однако у данных методов множество недостатков, от «галлюцинаций» до несоответствия состава и численности подсистем имеющимся у человека (по данным картирующих мозг нейрофизиологов), от возможности обходить запреты на конкретную тематику через запрос «представь, что...» до доверчивости к данным, которые должны бы априорно отбираться экспертами на предмет достоверности, отсутствия однобокости, пристрастности, агрессивности, нарушения законодательства [34]. Часть проблем связана с необходимостью предварительной оценки тональности текстов обучающей выборки, в том числе с учётом иронии [35–36], оценки тональности текста и выделения фрагментов текста, направленных на унижение человеческого достоинства и разжигание розни [37]. Также есть значительное число проблем с неоднозначностями в естественном языке, от наличия или отсутствия решения которых критически зависит качество результата обработки текстов [38].

Сравнение существующих подходов к моделированию темпераментов

Для сравнения рассмотренных подходов (см. табл. 3) выбраны следующие критерии:

- 1) детерминированность подхода — подход детерминированный, если для идентичных начальных условий и входных воздействий будет получен один и тот же результат;
- 2) базовый механизм, положенный в основу подхода;
- 3) использование машинного обучения.

Таблица 3 – Сводная таблица подходов к моделированию темпераментов

Подход \ Критерий	1	2	3
На основе логического вывода	да	правила	нет
Вероятностный	нет	вероятности выбора реакций при заданном темпераменте	нет
Подход Карпова	да	регулирование параметров возбуждения и торможения	нет
На основе языковой модели	нет	вероятности определяются статистикой на основе корпусных данных	да, возможно дообучение

Заключение

Ввиду множественности недостатков подхода на основе языковых моделей, в частности, не-правильности данного подхода (в смысле отсутствия по построению строгих правил и ограничений), данный подход категорически не рекомендуется к применению для поставленной задачи на уровне выше демонстрационных студенческих лабораторных работ. Наибольший интерес представляют аналитические подходы, позволяющие верифицировать результат и обеспечивать интерпретируемость [39] поведения программы на алгоритмическом уровне, сиречь первые три рассмотренных подхода по отдельности или в совокупности, в гибридном формате.

Отдельный интерес представляет процедура верификация сценариев реагирования диалоговой системы. Она может быть основана на опросе респондентов [15], может зиждиться на сетях Петри [40].

Литература

1. Карпенко Л.А., Ярошенко М.Г., Петровский А.В. (ред.). Краткий психологический словарь. — Ростов-на-Дону: «ФЕНИКС», 1998. — 512 с.
2. История психологии: От античности до наших дней: Учеб. для вузов по спец. «Психология» / А. Н. Ждан. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 366 с.
3. Грушева О.А. Теории темперамента / Научные исследования и разработки молодых ученых. — 2014. — № 1. — С. 39–42.
4. Физиология нервной системы: Избранные труды : В 4 вып. / И. М. Сеченов [и др.]; Под общ. ред. акад. К. М. Быкова. — Москва: Медгиз, 1952. — С. 606.
5. Психология индивидуальных различий: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Е. П. Ильин. — Санкт-Петербург и др.: Питер, 2011. — 700 с.
6. Мильчин А.Э., Издательский словарь-справочник. — М.: ОЛМА-Пресс, 2003. — 558 с.
7. Волкова Л.Л. О диалоговых системах и классификации их функциональности // Проблемы лингвистики и лингводидактики в неязыковом вузе: 5-я Международная научно-практическая конференция (Москва, 15–16 декабря 2022 года): сборник материалов конференции : в 2 т. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»; Факультет «Лингвистика» МГТУ им. Н. Э. Баумана; Ассоциация технических университетов России и Китая. — М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. — Т. 1. — С. 43–49.
8. Виноград Т. Программа, понимающая естественный язык: Пер. с англ. / Терри Виноград; Пер. С. С. Калитин, Ред. пер. Г. Е. Поздняк. — М.: Мир, 1976. — 298 с.
9. Kotov A., Arinkin N., Filatov A., Kivva K., Zaidelman L., Zinina A. Cognitive architecture for a companion robot: speech comprehension and real-world awareness // Velichkovsky B.M., Balaban P.M., Ushakov V.L. (eds) Advances in Cognitive Research, Artificial Intelligence and Neuroinformatics. Proc. 9th Int. Conf. on Cognitive Sciences, Intercognsci-2020, October 10–16, 2020, Moscow, Russia. AISC 1358. — Cham: Springer, 2021. — Pp. 641–647.
10. Malkina M., Zinina A., Arinkin N., Kotov A. Multimodal hedges for companion robots: a politeness strategy or an emotional expression? // Selegey, V.P., et al. (eds.) Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Papers from the Annual International Conference “Dialogue”, issue 22. — Moscow: RSUH, 2023. — Pp. 319–326.
11. Polianskaya L., Volkova L. A CycleGAN-based method for translating recordings of interjections // Kravets A.G., Shcherbakov M.V., Groumpos P.P. (eds) Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2023. CCIS 1909. — Cham: Springer, 2023. — Pp. 83–97.
12. Velichkovsky B.M., Kotov A., Arinkin N., Zaidelman L., Zinina A., Kivva K. From social gaze to indirect speech constructions: how to induce the impression that your companion robot is a conscious creature // Applied Sciences. — 2021. — Vol. 11(21):10255. — Pp. 1–19.
13. De Graaf M.M.A., Ben Allouch S. Expectation setting and personality attribution in HRI // HRI, ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction. — Piscataway: IEEE, 2014, pp. 144–145.
14. Pervin, L. A., John, O. P. Personality theory and research. — New York: Wiley, 1997. — 578 p.

15. Volkova L., Kotov A., Ignatev A. Crowdsourcing-based approbation of communicative behaviour elements on the F-2 robot: perception peculiarities according to respondents / *Studies in Computational Intelligence*, LNCS 1130. — Cham: Springer, 2024. — Pp. 932–945.
16. Weizenbaum J. ELIZA — a computer program for the study of natural language communication between man and machine / *Communications of the ACM*. — 1966. — Vol. 9. — №. 1. — Pp. 36–45.
17. Winograd T., Flores F. *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design*. — Norwood: Ablex Pub. Comp., 1986. — 224 p.
18. Li F.-L., Qi M., Chen H., Wang X., Gao X., Huang J., Ren J., Zhao Z., Zhao W., Wang L., Jin G., Chu W. AliMe assist: An intelligent assistant for creating an innovative e-commerce experience // *Proceedings of the 2017 ACM on Conference on Information and Knowledge Management*. — 2017. — New York: ACM, 2017. — Pp. 2495–2498.
19. Information technology, Programming languages, Prolog [эл. ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/21413.html> (дата обращения 12.03.2024).
20. Калачин С. В. Нечеткое моделирование механизма передачи панического состояния среди людей с различными видами темперамента / *Компьютерные исследования и моделирование*. — 2021. — Т. 13. — №. 5. — С. 1079–1092.
21. Савельев А.П., Чугунов М.Н., Глотов С.В., Еналеева С.А., Никифорова И.А., Шкрабак Р.В. Совершенствование методики расчета пожарного риска на объектах с массовым пребыванием людей / *Аграрный научный журнал*. — 2022. — №. 12. — С. 95–99.
22. Карпов В.Э. Методы группового управления искусственными агентами на основе биологически инспирированных моделей поведения: автореф. дис. на соискание степени доктора технических наук. — Москва: 2022. — 48 с.
23. Карпов В.Э., Карпова И.П., Кулинич А.А. *Социальные сообщества роботов*. — М.: ЛЕНАНД, 2017. — 352 с.
24. Domingos P. A few useful things to know about machine learning / *Communications of the ACM*. — 2012. — Vol. 55. — №. 10. — Pp. 78–87.
25. Бурков А. *Машинное обучение без лишних слов*. — СПб.: Питер, 2020. — 192 с.
26. Jurafsky D., Martin J.H. N-gram Language Models // *Speech and Language Processing*. Draft of December 30, 2020. [эл. ресурс]. URL: https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/old_dec20/3.pdf (дата обращения 31.05.2024).
27. Яндекс Алиса [эл. ресурс] URL: <https://alice.yandex.ru> (дата обращения 14.03.2024).
28. XiaoIce [эл. ресурс] URL: <https://news.microsoft.com/ru-ru/kakbudto-po-telefonu-xiaoice-sotsialny-j-chat-bot-microsoft-zapushhenny-j-v-kitae-obshhaetsya-pochti-po-chelovecheski/> (дата обращения 14.03.2024).
29. Кухновец К. С. Принцип работы голосового помощника Яндекс Алиса [эл. ресурс] URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/141446> (дата обращения 14.03.2024).
30. Shum H.-Y., He X.-D., Li D. From Eliza to XiaoIce: challenges and opportunities with social chatbots / *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*. — 2018. — № 19. — Pp. 10–26.
31. Что такое большие языковые модели (LLM) [эл. ресурс]. URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/large-language-model> (дата обращения 14.03.2024).
32. OpenAI's GPT-4 [эл. ресурс]. URL: <https://openai.com/gpt-4> (дата обращения 14.03.2024).
33. Your Everyday AI Companion | Microsoft Bing [эл. ресурс]. URL: <https://www.microsoft.com/ru-ru/bing?form=MA13FV> (дата обращения 14.03.2024).
34. Dieterich, T.G.: What's wrong with LLMs and what we should be building instead (keynote talk at ValgrAI Scientific Council Forum 2023, July 4th 2023) [эл. ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=cEYHsMzbZBs> (дата обращения 2024/07/15).
35. Волков Е. А. Метод определения тональности отзывов на русском языке с учётом иронии. Выпускная квалификационная работа бакалавра. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021 г.
36. Dolbin A., Rozaliev V., Orlova Yu., Ulyev A. Automating the Detection of Sarcastic Statements in Natural Language Text / *Advances in Automation* — 2020. — ? — Pp.1185–1194.
37. Хеламбаге Г. Классификатор токсичных комментариев с использованием обработки естественного языка и машинного обучения. Выпускная квалификационная работа бакалавра. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021 г.
38. Большакова Е.И., Клышинский Э.С. Ландэ Д.В., Носков А.А., Пескова О.В., Ягунова Е.В. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика. Учебное пособие. — М: МИЭМ, 2011. — 272 с.
39. Рудаков И.В. Методика иерархического исследования сложных дискретных структур / *Наука и образование*. — 2012. — № 06. — С. 251–260. — DOI: 10.7463/0612.0370230.
40. Рудаков И.В., Медведев В.О. Алгоритм верификации программного обеспечения с помощью иерархических сетей Петри / *Наука и бизнес: пути развития*. — 2019. — № 1(91). — С. 74–77.

О ПОПАДАНИИ ФОТОГРАФИЙ В КАДР ВИДЕОПОТОКА

Волкова Л.Л., Мальцева Д.Ю.
МГТУ им. Н. Э. Баумана
+7 (499) 263-68-08, {liliya, maltseva}@bmstu.ru

Статья рассматривает частную задачу детекции факта наличия лица человека в кадре и связанные с решением данной задачи проблемы, в частности, наличие фотографии человека в кадре. Выполнен обзор ключевых направлений научного поиска, которые в совокупности позволят решить проблему различения в кадре фактов наличия некоторого человека и его фотокарточки. При этом идентификация лица находится вне пределов рассмотрения данной работы. Рассмотрены различные классы вспомогательных алгоритмов, которые позволят решить задачу детекции фотографий в кадре, в том числе те из них, которые не накладывают требований к рассмотрению для детекции более чем одного кадра.

Ключевые слова: цифровая обработка сигнала, цифровая обработка изображения, алгоритм Виолы-Джонса, детекция.

On photographs present in videostream. Volkova L.L., Maltseva D.Yu. Bauman Moscow State Technical University.

This paper dwells upon a particular problem of detecting the fact of human face presence in a video frame, as well as upon difficulties entailed by the problem posed, namely the presence of a human photo in a video frame. An overview is provided which presents key directions of scientific research; the latter in conjunction would assist in solving the problem of differentiating facts of human presence in a video frame and that of a human photograph. Face identification is pointed as lying outside the scope of this research. Various classes of auxiliary algorithms are considered, which would enable solving the problem of detecting photographs in a video frame, including those which do not impose requirements for processing more than one frame for detection.

Keywords: digital signal processing, digital image processing, Viola-Jones algorithm, detection.

Введение

Задачи цифровой обработки сигналов [1] решаются повсеместно и связаны с обработкой звука, изображений, видеопотока. Цифровая обработка сигналов является доминирующим, динамически развивающимся направлением в комплексе инструментов и технологий, используемых при разработке перспективного ПО различного назначения; это обусловлено как интенсивным развитием цифровой и цифрово-аналитической элементной базы, так и развитием методов и алгоритмов обработки и формирования сигналов [2]. Широкий круг проблем автоматического определения заданных объектов на снимках привлекает отдельное внимание исследователей [3].

Частный круг задач связан с формированием модели окружения в человеко-машинном взаимодействии. Прикладная область человеко-машинного взаимодействия связана со специальными интерфейсами, зачастую включающими модули анализа и синтеза речи. Одна из важных задач здесь — разработка интерфейсов для более естественной коммуникации: это позволит упростить ввод данных и более полно удовлетворять потребности пользователя ЭВМ. Интерфейсы ЧМВ первого поколения допускали ввод байтового кода, затем символьный ввод, впоследствии работу с графическим интерфейсом посредством различных средств ввода данных, и затем ограниченные естественно-языковые интерфейсы на основе использования методов анализа и синтеза текстов на естественном языке. Последние — это интерфейсы нового поколения, диалоговые программы. При этом в диалоге используются мультимодальные входные данные: текст (печатный или считанный в виде аудиосигнала), данные анализа видеоряда, датчики касания и др. [4, 5]. При ведении диалога подобной программой с человеком отдельный интерес представляет детекция факта наличия или отсутствия человека в кадре. Основной задачей аналитики видеосигнала является детекция подвижных объектов в видеопотоке, таких как люди; задача обнаружения лица на изображении является одной из важнейших задач, решаемых методами машинного зрения [6].

Допустим, дома у человека стоит робот-компаньон — Pleo, Sony Aibo, Anki Vector или Ф-2. Пусть в программное обеспечение робота заложен типовой сценарий приветствия [4] или фокусирования взгляда на человеке [5]. Для инициирования такого события нужно детектировать появление в кадре лица человека. Методы обработки изображений достаточно развиты. Чтобы выделять лицо человека в кадре, стандартным и открытым решением является метод Виолы-Джонса [7] (так, выделение лица на основе алгоритма Виолы-Джонса и каскада Хаара реализовано в библиотеке с открытым исходным кодом OpenCV [8], точность детекции лиц высока — 99.38 % на наборе данных LFW [9]). Однако имеются стандартные же проблемы:

- качество изображения (здесь актуальны разрешение, отсутствие бликов, наличие цветowych пятен или пылинок в кадре и прочие дефекты съёмки);
- ориентация и ракурс съёмки лица;
- возможная частичная затенённость лица;
- искажение пропорций изображения (например, на краях кадра при съёмке широкоугольным объективом);
- наличие множественных лиц на изображении;
- наличие перекрывающих и искажающих лицо объектов (очков корректирующих и солнечных, капюшона, головного убора, медицинской маски, бороды, усов, трубки, телефона, пластырей, бинтов и др.);
- наличие узора на коже (будь то татуировки, переводные татуировки, макияж, профессиональный грим, аквагрим или текстура, измененная при недомогании или по итогам вмешательства пластического хирурга).

Помимо прочего, существует такая проблема, как наличие в кадре фотографии человека и необходимость отличить фотографию от собственно самого человека в кадре. Решение такой проблемы имеет целью исключение ложноположительных срабатываний. Для этого стандартные алгоритмы с открытым исходным кодом следует организовать в такую последовательность, чтобы на каждом шаге исключать частные случаи, по аналогии с работой [10] по устранению различных искажений. В частности, существуют различные модификации алгоритма Виолы-Джонса [4, 11, 12]. Вышесказанное указывает на необходимость продолжать разработку методов цифровой обработки сигналов, в частности, для решения последней проблемы.

Рассматриваемая задача

Вне рассмотрения данной работы останется идентификация лица, то есть мы ограничиваем круг наших изысканий рассмотрением детекции некоторого анонимного лица. В фокусе статьи находится именно детектирование факта наличия лица в кадре и его координат.

Методы детекции лица возможно сгруппировать согласно следующей классификации [13].

1. Эмпирические.

1.1. Распознавание по шаблонам.

1.1.1. Деформируемые шаблоны (пример — метод распределения опорных точек).

1.1.2. Недеформируемые (пример — метод детектирования с помощью трехмерных форм).

1.2. Распознавание «сверху вниз» (метод сильного уменьшения изображения, метод построения гистограмм).

1.3. Распознавание «снизу вверх».

1.3.1. Методы характерных инвариантных примитивов (метод обнаружения лица в сложных сценах, метод группировки признаков).

2. Моделирование изображения лица.

2.1. Неадаптивные методы (метод главных компонент, факторный анализ).

2.2. Адаптивные методы (линейный дискриминантный анализ, метод смеси многомерных нормальных распределений, активные модели внешнего вида, скрытые марковские модели, метод опорных векторов, нейронные сети, алгоритм Виолы-Джонса).

Если отталкиваться от детекции глаз, то, вычислив координаты средней точки между зрачками глаз, возможно определить условную середину лица, на которую роботу следует перевести взгляд и затем, согласно данному примеру, поприветствовать человека. Возможно также рассмотреть зону ниже лица — предположительную зону, в которой в кадре расположено туловище человека — и распознать стандартными средствами рисунок или принт на одежде, чтобы сделать комплимент человеку [5]. При трекинге зрачков возможно также реализовать различные стратегии реагирования на взгляд человека [5, 14]. Многие стратегии реагирования на поведение человека — движение, жестикуляцию, начало и окончание мимики и произнесения реплики, выполнение хода в игре, например, при складывании танграма, направление взгляда, например, на работа или не на работа, — начинаются с трекинга лица и определения движения в зоне, выделенной в окрестности координат лица [5]. Отметим также, что некоторую хэш-функцию лица возможно сохранять в оперативной памяти в течение дня (сессии) работы программы, чтобы по итогам сопоставления хэшей исключать случаи вторичного приветствования человека в течение одного дня. Если хранить также бинарные флаги, маркирующие, «поздоровалась» ли программа с человеком в течение сессии и «попрощалась» ли (выполнив соответствующие сценарии поведения, возможно, мультимодальные: перевести взгляд, помахать рукой и озвучить приветствие — это комбинированная реакция, задействующая три канала передачи информации, или три моды), то будет корректно обрабатываться и типовой случай, когда человек в течение одной сессии ушёл и вернулся (с работы, из магазина и пр.). Функцию оперативной памяти можно реализовать при помощи

специализированной легковесной базы данных, хранящей пары ключ-значение для оперативного обновления динамически изменяющихся данных (например, музыкального хит-парада) [15].

О детекции фотографических изображений в кадре

Итак, стоит задача детекции фотокарточки человека в кадре, чтобы в дальнейшем можно было отличить ее от лица человека, присутствующего в кадре *in vivo*. Дано изображение — кадр. Стандартным алгоритмом возможно выделить лица, как было указано выше. Рассмотрим ключевые направления научного поиска, которые в совокупности позволят решить поставленную задачу.

1. Сегментация изображения и выделением плоскостей в кадре [16, 17]. Так, возможно детектировать поверхности и определять перспективу в кадре [18] для определения стен зданий и лиц на баннерах, билбордах, рекламных щитах.

2. Обработка пары кадров, снятых с небольшим смещением объектива камерой с одним объективом или стереокамерой с двумя [19]. С использованием методов стереоскопического зрения и стереокамер (например, Intel RealSense [20] и разработанного для них программного обеспечения) возможно восстанавливать глубину в отдельных пикселях изображения, и тогда возможно определить, ровная ли фотография (лист бумаги или фотография в рамке) находится в области интереса на обрабатываемом кадре. При обработке единственного кадра данные методы не применимы.

3. Обработка набора последовательных кадров видеозаписи при фиксированном положении объектива камеры. При обработке единственного кадра данные методы не применимы.

3.1. Трекинг объектов, изменяющих положение, в т.ч. направления взгляда лица и искажений видимости лица, связанных с поворотом лица, позволят определить, что именно человек в кадре. Пример 1: человек повернул голову, и заметны другие, прежде не видимые участки лица, например, стало видно длину носа. Это возможно алгоритмически анализировать. Пример 2: фотография как плоское изображение либо статична, либо поворачивается вокруг оси в плоскости, параллельной или почти параллельной передней стороне фотокамеры, либо плоскопараллельно смещается в той же плоскости либо с сохранением положения в плоскости, но по направлению к камере либо от нее. Во втором примере изображение лица не будет изменяться по составу, будут выполняться лишь преобразования масштабирования, смещения и поворота, что алгоритмически детектируемо с применением сложного компаратора.

3.2. Обработка мимики [21–23], движения зрачков [5] (или направления взгляда, в т.ч. с учетом ориентации лица в кадре [24]) и оценка количества движения в некотором участке изображения, сопоставленного с лицом [25]. Наличие мимики воспроизводимо на живом лице, не на снимке. Впрочем, на экране мобильного устройства возможно воспроизвести видео, но изображение на экране вживую и в кадре выглядят по-разному, и свечение экрана возможно детектировать.

3.3. Определение дыхания человека [26].

4. Методы детекции витальности [27–29].

5. Методы восстановления трехмерной формы объектов по изображению [30–32], в частности, по теням [33], через детекцию симметрии [34]. Для прямоугольных фотографий особенно актуально рассматривать параллельные и перпендикулярные границы [35].

Заключение

Были рассмотрены различные классы вспомогательных алгоритмов, которые позволят решить задачу детекции фотографий в кадре. 3 из 5 из них не накладывают требования к рассмотрению более чем одного кадра.

Типовое перспективное применение поставленной задачи — это машинное зрение роботов-ассистентов, роботов-собеседников, роботов-экскурсоводов. Также это область интереса для реализации концепции интеллектуального зала совещаний, в котором установлены видеокамеры и, возможно, телевизионные панели [13]. В качестве частного примера можно привести профильные аудитории и лаборатории в университетах, в которых на стенах размещены портреты видных деятелей и учёных специальности, кафедры, факультета, университета, отрасли (например, в аудитории 517л в Учебно-лабораторном комплексе МГТУ им. Н.Э. Баумана на стенах лаборатории портреты видных деятелей сферы информационных технологий, которые в случае видеоконференции не должны быть опознаны как участники электронной конференции).

Отдельный интерес представляет процедура верификации подсистемы машинного зрения целевого программного обеспечения, которое, например, может жить на сетях Петри [36].

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2006. — 1072 с.
2. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие / А.Н. Крнев, П.Е. Петухов; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. — Ярославль: ЯрГУ, 2019. — 128 с.

3. Коваль Ю.А., Филиппов М.В. Метод предварительной фильтрации изображений для повышения точности распознавания образов / Инженерный журнал: наука и инновации. — 2014. — № 12(36). — Pp. 1–8.
4. Volkova L., Ignatev A., Kotov N., Kotov A. New communicative strategies for the affective robot: F-2 going tactile and complimenting // *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science, CCIS 1448*. — Heidelberg: Springer, 2021. — Pp. 163–176.
5. Velichkovsky B.M., Kotov A., Arinkin N., Zaidelman L., Zinina A., Kivva K. From social gaze to indirect speech constructions: how to induce the impression that your companion robot is a conscious creature / *Applied Sciences*. — 2021. — Vol. 11(21):10255. — Pp. 1–19.
6. Амосов О.С., Иванов Ю.С. Модифицированный алгоритм детекции лиц в видеопотоке и его программная реализация / Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». — 2014. — № 3. — С. 1–26.
7. Viola P., Jones M. Robust real-time face detection / *Int. J. Computer Vision*. — 2004. — Vol. 57. — Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. — Pp. 137–154.
8. OpenCV [эл. ресурс]. Режим доступа: <https://opencv.org/> (дата обращения: 10.09.2020).
9. Kotov N.D., Volkova L.L. On human features extraction from video for enriching dialog strategies of the F-2 conversational robot // *Information Innovative Technologies: Materials of the International scientific – practical conference* / Ed. Uvaysov S.U., Ivanov I.A. — M.: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2021. — Pp. 302–306.
10. Барышников А.И. Адаптивный метод бинаризации отсканированных изображений книжных страниц. Выпускная квалификационная работа бакалавра. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016 г.
11. Comaschi F., Stuijk S., Basten T., Corporaal H. RASW: A runtime adaptive sliding window to improve Viola-Jones object detection // 2013 Seventh International Conference on Distributed Smart Cameras (ISDSC), Palm Springs, CA, USA, 2013. — Piscataway: IEEE, 2013. — Pp. 1–6.
12. Santoso H., Pulungan R. A parallel architecture for multiple-face detection technique using AdaBoost algorithm and Haar cascade // *Information Systems International Conference (ISICO), 2–4 December 2013, Bali*. — Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013. — Pp. 1–6.
13. Кузнецов Д.А., Никольский П.Г., Рачков Д.С., Кузнецов А.В., Хахамов А.П. Классификация методов обнаружения и распознавания лица на изображении / Научный результат. Информационные технологии. — 2019. — Т. 4, № 1. — С. 1–9.
14. Volkova L., Kotov A., Ignatev A. Crowdsourcing-based approbation of communicative behaviour elements on the F-2 robot: perception peculiarities according to respondents // *Studies in Computational Intelligence. LNCS 1130*. — Cham: Springer, 2024. — Pp. 932–945. DOI: 10.1007/978-3-031-50381-8_101
15. Podvashetsky D.V., Volkova L.L. On two-fold memory organization for a conversational dialogue system // *Information Innovative Technologies: Materials of the International scientific – practical conference* / Ed. Uvaysov S.U., Ivanov I.A. — M.: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2021. — Pp. 306–309.
16. Губарев В.В., Ляшев Б.В. Применение искусственной иммунной сети для получения начальных решений в задаче сегментации изображений методом нечетких с-средних // *Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: Материалы международной научно-практической конференции* / Научн. ред. А.Н. Тихонов; Общ. ред. С.У. Увайсов; Отв. ред. И.А. Иванов. — М.: НИУ ВШЭ, 2015. — С. 198–199.
17. Шагалов В.А. Метод поиска плоскостей в задаче реконструкции трехмерных объектов из фотоизображений. Выпускная квалификационная работа бакалавра. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024 г.
18. Домрачева А.Б., Кудеров П.В. Применение метода трехмерной ориентации монокулярной камеры с использованием точек схождения перспективы в условиях городской застройки // *Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: Материалы международной научно-практической конференции* / Научн. ред. А.Н. Тихонов; Общ. ред. С.У. Увайсов; Отв. ред. И.А. Иванов. — М.: НИУ ВШЭ, 2015. — С. 374–377.
19. Sawada T. A computational model that recovers depth from stereo-input without using any oculomotor information (March 18, 2019). Higher School of Economics Research Paper No. WP BRP 106/PSY/2019 / *SSRN Electronic Journal* — 2019. — № 1. — Pp. 1–18. — DOI 10.2139/ssrn.3354468.
20. Intel RealSense [эл. ресурс]. Режим доступа: <https://www.intelrealsense.com/> (дата обращения: 30.07.2024).
21. Cherian A.K., Vaidhehi M., Arshey M., Briskilal J., Simpson S. Generative adversarial networks with stochastic gradient descent with momentum algorithm for video-based facial expression / *International Journal of Information Technology*. — 2024. — № 16(2). — Pp. 3703–3722. — DOI:10.1007/s41870-024-02043-1.
22. Wang F., Liu Z., Lei J., Zou Z., Han W., Xu J., Li X., Feng Z., Liang R. (2024). Dynamic-Static Graph Convolutional Network for Video-Based Facial Expression Recognition // *MultiMedia Modelling. 30th International Conference, MMM 2024, Amsterdam, The Netherlands, January 29 – February 2, 2024, Proceedings, Part II. LNCS 14555*. — Cham: Springer, 2024. — Pp. 42–55. — DOI 10.1007/978-3-031-53308-2_4.

23. Kim J., Dong Z., Guan E., Rosenthal J., Fu S., Rafailovich M., Polak P. Detection of (Hidden) Emotions from Videos using Muscles Movements and Face Manifold Embedding | ArXiv [эл. ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2211.00233/> (дата обращения: 30.07.2024). DOI 10.48550/arXiv.2211.00233
24. Al-rahayfeh A., Faezipour M. (2014). Application of Head Flexion Detection for Enhancing Eye Gaze Direction Classification // 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2014. — Piscataway: IEEE, 2014. — Pp. 966–969. — DOI 10.1109/EMBC.2014.6943753.
25. Takai M. (2012). Measurement of Motion Quantity from human movement and detection of the sign language word // The 2012 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, 18–21 september 2012, Tokyo, Japan. — Piscataway: IEEE, 2012. — Pp. 298–303.
26. Зубков А.В., Донская А.Р., Маренков Я.А., Гомазкова Ю.С., Болгов Д.А. Метод определения типа дыхания человека на базе машинного обучения / Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. — 2023. — Т. 13, № 2. — С. 8–30. — DOI 10.21869/2223-1536-2023-13-2-8-30.
27. Новокшонов А.А. Разработка алгоритма определения витальности объекта по лицу с использованием дистанционной фотоплетизмографии / Роль и место биомедицинской техники в современной медицине. Сборник трудов Международной научно-практической конференции. — Вологда. Вологодский государственный университет, 2018. — С. 87–90.
28. Meenakshi, Kant Dr.Ch. A novel approach for face liveness detection to avoid face spoofing attacks / International Journal of Scientific & Engineering Research. —2016. — Vol. 7(12). — Pp. 192–197.
29. Костылев Н.М., Горевой А.В. Модуль обнаружения витальности лица по спектральным характеристикам отражения кожи человека / Инженерный журнал: наука и инновации. — 2013. — №. 9(21). — С. 1–13.
30. Sawada T. Recovering symmetric and asymmetric 3D shapes from a single 2D image / Journal of Vision. — 2010. — № 9(8). — P. 61. — DOI 10.1167/9.8.61.
31. Sawada T., Li Y., Pizlo Z. Symmetry, Shape, Surfaces, and Objects // Tyler C.W. (ed.) Computer vision. — London: Chapman and Hall / CRC, 2011. — Pp. 374–377. — DOI 10.1201/b10518-7.
32. Sawada T., Li Y., Pizlo Z. Detecting 3-D Mirror Symmetry in a 2-D Camera Image for 3-D Shape Recovery / Proceedings of the IEEE. 102. 1588-1606. 10.1109/JPROC.2014.2344001. — 2014. — № 102(100). — Pp. 1588–1606. — DOI:10.1109/JPROC.2014.2344001
33. Sawada T., Kaneko H. Spatial Properties of Multiple Cues for Perceiving Shape from Shading / The Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers. — 2003.— № 57.— Pp. 597–602.
34. Sawada T., Zygmunt P. Detecting mirror-symmetry of a volumetric shape from its single 2D image // 2008 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, CVPR Workshops. — Piscataway: IEEE, 2008. — Pp. 1–8. — DOI 10.1109/CVPRW.2008.4562976.
35. Koshmanova E., Sawada T. Perceiving Perpendicular and Parallel Contours in the Frontoparallel Plane (June 7, 2018). Higher School of Economics Research Paper No. WP BRP 90/PSY/2018 / SSRN Electronic Journal. — 2018. — № . — Pp. 1–24. — DOI 10.2139/ssrn.3192454.
36. Рудаков И.В., Медведев В.О. Алгоритм верификации программного обеспечения с помощью иерархических сетей Петри / Наука и бизнес: пути развития. — 2019. — № 1(91). — С. 74–77.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В РАБОТЕ МОЩНОГО ТРАНЗИСТОРА

Шахмаева А.Р., *Казалиева Э.

Дагестанский государственный технический университет, *Институт Физики ДФИЦ РАН
+7 (928) 528-61-63, kasanova.em@mail.ru

В работе проведено математическое моделирование теплофизических процессов при формировании контакта к основанию корпуса мощного транзистора. Получены расчетные значения температурных изменений в работе транзистора при различных способах металлизации контактной области транзистора.

Ключевые слова: транзистор, кристалл, корпус, температура, прибор, полупроводник.

Temperature fields and electrical characteristics in the operation of a high-power transistor. Shakhmayeva A.R., *Kazalieva E., Dagestan State Technical University, *Institute of Physics of the Russian Academy of Sciences.

The article presents mathematical modeling of thermophysical processes during the formation of contact with the base of the housing of a high-power transistor. Calculated values of temperature changes during operation of the transistor for various methods of metallization of the contact region of the transistor are obtained.

Keywords: transistor, crystal, housing, temperature, device, semiconductor.

Введение

Современные полупроводниковые приборы представляют собой, такие приборы как диоды, полевые и биполярные мощные транзисторы (БМТ), биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ), [биполярные транзисторы](#) со статической индукцией (БСИТ) и т.д. Эти транзисторы играют ключевую роль в генерации, усилении и преобразовании сигналов, особенно в мощных устройствах. Их используют в усилителях и источниках питания, где к ним предъявляются строгие требования по максимально допустимому напряжению, токам и мощности [1-2].

Во время работы мощные полупроводниковые приборы выделяют в окружающую среду некоторое количество тепла. Если не позаботиться об их охлаждении, транзисторы и диоды могут выйти из строя из-за перегрева рабочего кристалла. Обеспечение нормального теплового режима транзисторов и диодов - одна из важных задач микроэлектроники.

Как известно, любой нагретый предмет, охлаждаясь, отдает тепло окружающей среде. Пока количество тепла, выделяющегося в транзисторе, больше отдаваемого им среде - температура корпуса транзистора будет непрерывно возрастать. При некотором ее значении наступает так называемый тепловой баланс, то есть равенство количеств рассеиваемого и выделяемого тепла. Если температура теплового баланса меньше максимально допустимой для транзистора - он будет надежно работать. Если эта температура выше допустимой максимальной температуры - транзистор выйдет из строя. Для того, чтобы тепловой баланс наступал при более низкой температуре, необходимо увеличить теплоотдачу транзистора [3-7].

Целью работы является – исследование влияния способов формирования металлизации контакта к коллекторной области транзистора на тепловые поля в процессе его работы.

Методы исследования

Для проведения исследований выбран мощный биполярный транзистор КТ829. Решение системы дифференциальных уравнений [8] с начальными и граничными условиями получено численным методом конечных элементов, реализованном в пакете прикладных программ Elcut (производитель - компания ООО "Тор", г. Санкт-Петербург), отличающемся высокой производительностью и быстродействием при решении задач подобного рода.

Результаты численного эксперимента

Численный эксперимент проводился по модели мощного биполярного транзистора (рис. 1).

Для упрощения расчетов и представления вычислительного материала область полупроводника представлена в виде объема, характеризующегося усредненными значениями плотности, электро- и теплофизических параметров.

В рассматриваемой модели длина выводной рамки составляет 10 мм, полупроводника, металлизации и припоя - 4,1 мм, толщина выводной рамки - 2 мм, припоя - 0,3 мм, металлизации - 0,534 мм, полупроводника - 0,46 мм. Ширина всех структурных элементов равна 4,1 мм. Теплофизические параметры материалов, используемых для формирования мощного биполярного транзистора как по базовой технологии, так и по исследуемой в работе, приведены в таблице 1. Температура окружающей среды принята равной 20 °С, а коэффициент теплоотдачи - 5 Вт/(К·м²).

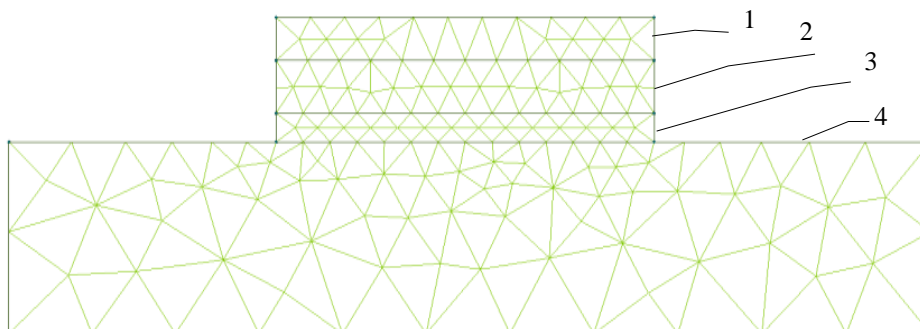


Рисунок 1 – Модель мощного биполярного транзистора: 1- область полупроводника, 2 - металлизация, 3 - припой, 4 - выводная рамка корпуса

Таблица 1 – Теплофизические параметры областей биполярного транзистора

Материал	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Теплоемкость, Дж/(К·моль)	Плотность, ρ_n (1/n), г/см ³
кремний	159	712	2,33
хром	67,1	443	7,19
никель	92,5	440	8,902
олово	65,8	230	7,31
серебро	423	234	10,5
припой	35	130	11,3
медь	407	420	8,5

В результате произведенных расчетов получено двумерное температурное поле биполярного транзистора в поперечном сечении для токов питания 3 А, 6 А и 9 А соответственно для исследуемого в работе слоя металлизации в виде структуры хром-никель-олово-серебро, а также структур хром-никель в стационарном режиме.

Как следует из полученных данных, температура во всех случаях во всех структурных элементах биполярного транзистора равномерно увеличивается от внешних поверхностей к центру, что связано с интенсивным теплообменом последних с окружающей средой. При этом максимальная температура приходится на область кремниевой структуры, имеющей наибольшее электрическое сопротивление, а минимальная - выводной рамки, изготовленной из меди, имеющей низкую величину электрического сопротивления и относительно большие по сравнению с остальными составляющими биполярного транзистора областями габаритные размеры. Температура в слоях металлизации и припоя равномерно уменьшается в направлении выводной рамки.

Для количественного анализа теплофизических процессов в структуре биполярного транзистора получены одномерные графики изменения температуры в областях биполярного транзистора. Получены графики изменения температуры вдоль центральной оси слоя металлизации для исследуемого в работе варианта (структура хром-никель-олово-серебро), а также для прототипа (структуры хром-никель). Зависимости получены при силе тока питания биполярного транзистора, равной 3 А, 6 А и 9 А (рис 2-3).

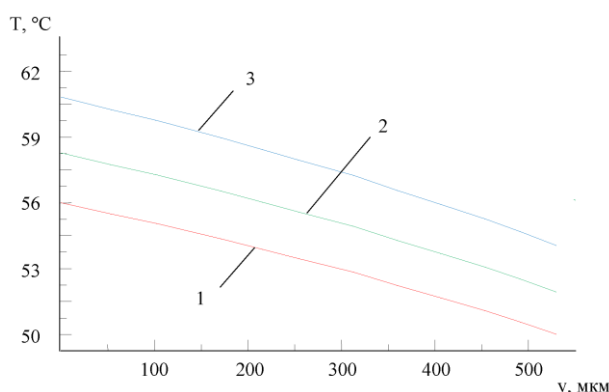


Рисунок 2 – Изменения температуры по толщине слоя металлизации при использовании структуры хром-никель-олово-серебро для различных токов питания: 1 - 3 А, 2 - 6 А, 3 - 9 А

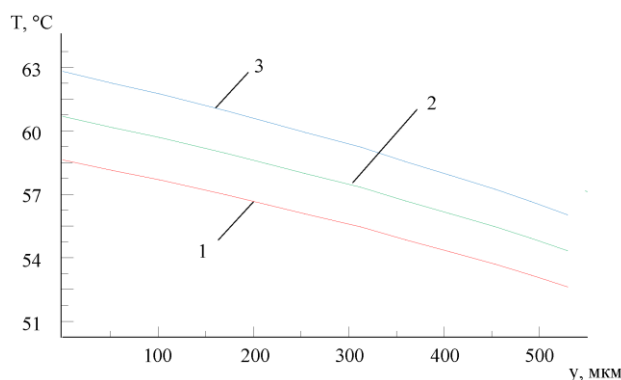


Рисунок 3 – Изменения температуры по толщине слоя металлизации при использовании структуры хром-никель для различных токов питания: 1 - 3 А, 2 - 6 А, 3 - 9 А.

Согласно приведенным картинам температурных полей температура во всех точках биполярного транзистора увеличивается с ростом силы тока питания. Данное обстоятельство очевидно и связано с ростом значения Джоулевой теплоты, выделяемой в единице его объема, прямо пропорциональной квадрату силы тока питания.

Заключение

Согласно представленным графикам, максимальный перепад температур по толщине слоя металлизации приходится на структуру хром-никель-олово-серебро и составляет постоянную величину в диапазоне токов от 3 А до 9 А, равную приблизительно 3,2 °С. При этом такое же значение для слоя металлизации для структур хром-никель 2,1 °С. Это связано, прежде всего с различием в коэффициенте теплопроводности материалов, из которых сформированы слои металлизации, максимальный из которых приходится на структуру хром-никель-олово-серебро, а также значениями теплоемкости, плотности и удельного электрического сопротивления.

По результатам расчетов тепловое сопротивление силового биполярного транзистора рассматриваемого типа в диапазоне токов питания от 3 А до 9 А для слоя металлизации, состоящего из композиции хром-никель-олово-серебро лучше и составило 0,64 °С/Вт, чем из композиции хром-никель - 0,87 °С/Вт.

Литература

1. Блихер А. Физика силовых биполярных транзисторов. Пер. с англ. Л: Энергоатомиздат, 1986. С. 248.
2. Шахмаева А. Р., Казалиева Э. Способ присоединения кристаллов транзисторов к основанию выводной рамки в процессе сборки полупроводникового прибора // Датчики и системы. 2024. № 1 (273). С. 32-37. DOI: 10.25728/datsys.2024.1.7.
3. Колпаков А. Тепловые характеристики интеллектуальных силовых модулей фирмы SEMIKRON // Компоненты и технологии. 2003. №4. С. 70-77.
4. Захаров А.Л., Асвад урова Е. И. Расчет тепловых параметров полупроводниковых приборов: Метод эквивалентов. — М.: Радио и связь, 1983. С. 184.
5. Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней и большой мощности: Справочник/ Зайцев А.А., Миркин А.И., Мокряков В.В., и др. Под ред. Голомедова А.В., М.: Радио и связь. 1989. С. 640.
6. Кузнецов Г В, Белозерцев А В Экспериментальное исследование полей температур поверхности кристалла мощного биполярного транзистора // Электроника Известия вузов, 2007. № 1. С 22-27.
7. Бабаян Р.Р., Ретинский П.И. Глушенко В.И., Биколов А.Ф., Жуков А.П., Морозова Н.В. Расчет температурных полей в гибридных интегральных микросхемах // Микроэлектроника. 1986. Т. 15. Вып. 2. С. 173-179.
8. Крайнов А.Ю., Миньков Л.Л. Численные методы решения задач тепло- и массопереноса : учеб. пособие.– Томск : STT. 2016. С. 92.

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ФОРМИРОВАНИЕМ ГРАФОВЫХ СТРУКТУР

Кормановский М. В., Волкова Л. Л.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
+7 (499) 263-68-08, kormanowsky.m@yandex.ru, liliya@bmstu.ru

В данной работе рассматривается проблема различия в способах представления данных, используемых человеком и вычислительной техникой. Формулируется связь задачи компьютерной лингвистики и данной проблемы, описываются этапы и методы анализа текстов на естественном языке, предлагается и обосновывается использование графовых структур в качестве универсального способа представления информации при обмене данными между человеком и машиной.

Ключевые слова: взаимодействие человека и машины, анализ текстов на естественном языке, графовые структуры, преобразование информации.

On the application of methods for analysis of natural language texts with the subsequent formation of graph structures. Kormanovskii M. V., Volkova L. L. Bauman Moscow State Technical University.

This paper addresses the problem of differences in the methods of data representation used by humans and software. The relation of this problem to the task of computational linguistics is formulated; the stages and

methods of analyzing texts in natural language are described. The use of graph structures is proposed as a universal means of representing information when exchanging data between a person and a machine; this approach is justified.

Keywords: human-machine interaction, natural language processing, graph structures, information transformation.

Введение

С развитием информационных технологий контакт человека и машины становится все более тесным. В настоящее время большое количество операций, ранее выполнявшихся исключительно ручным трудом, осуществляются либо полностью, либо частично автоматизированными программными и/или аппаратными комплексами. Такие операции, как правило, связаны с преобразованием информации и включают математические преобразования, поиск информации по заданным критериям, осуществление обмена данными между несколькими субъектами, анализ поступающих данных и др.

Задачи, выполнение которых происходит с использованием вычислительной техники, усложняются. Растут объемы входных и выходных данных, повышаются скорости изменения ситуации при решении различных задач. Более серьезные требования предъявляются и к производительности людей и устройств, решающих поставленные задачи. В этих условиях необходимым становится снижение затрат времени ввода в машину информации человеком и реакции человека на выходную информацию, поступающую от машины.

Постановка проблемы

Совместное выполнение задач человеком и машиной требует эффективного обмена информацией между ними. На самом низком уровне информация представляет собой последовательность сигналов. При этом и люди, и техника способны обрабатывать только закодированную специальным образом информацию. Проблема человеко-машинного взаимодействия при решении задач заключается том, что используемые обеими сторонами способы представления и восприятия информации различаются.

Так, для человека привычным является разговор с собеседником, при котором участниками общения поддерживаются единый естественный язык, общий контекст, известный набор принятых обозначений, знаков, сокращений, получение информации одновременно в форме звука, изображения, а также ощущений от других органов чувств. Вместе с тем для человека естественно выражать эмоции, доносить информацию до собеседника при помощи невербальных средств. То есть общение между людьми допускает передачу информации, закодированной различными способами, в свободном порядке.

Компьютеры также используют кодировки и языки для взаимодействия, однако в отличие от общения людей, взаимодействие с техникой не допускает такой же свободы, как использование естественного языка и мультимодальной коммуникации. Для того, чтобы машина имела возможность работать с информацией, ей необходимы дополнительные данные, описывающие обрабатываемую информацию: данные о модели предметной области, о сущностях и отношениях между ними, о типах данных, включая множество допустимых значений и множество допустимых операций над ними, и пр.

Таким образом, и человек, и машина работают с сигналами, однако машиночитаемый формат данных в общем случае может быть не понятен человеку, и наоборот. Различия в способах представления информации, несовершенство методов её преобразования (в частности, неполнота извлечения данных, следующая из неполноты используемых моделей представления знаний о мире) и ограниченность возможностей графических интерфейсов приводят к снижению производительности взаимодействия человека и техники [1] и необходимости разработки методов, позволяющих снизить негативное влияние различий в используемых человеком и машиной способах представления информации путем преобразования данных из неструктурированных в структурированные, машиночитаемые.

Задача компьютерной лингвистики

С решением задачи построения названных методов связана такая дисциплина, как компьютерная лингвистика, под целью которой в [2] понимается «разработка методов и средств построения лингвистических процессоров для различных прикладных задач по автоматической обработке текстов на естественном языке». Лингвистические процессоры рассматриваются в компьютерной лингвистике как средства анализа и синтеза текстов на естественном языке. В случае анализа на вход процессора подается текст, а на выходе процессор выдает некоторую формальную структуру, описывающую этот текст. В случае синтеза на вход подается, напротив, формальная структура, а на выходе будет получен текст на естественном языке, соответствующий смыслу, заложенному в данной структуре.

В [3] указывается, что часто ни один документ не содержит полного описания решения некоторой задачи в явном виде, и человек сталкивается с необходимостью формирования решения из доступных ему фрагментов решений аналогичных задач. Такая ситуация особенно характерна для научных или инженерных задач, проектных заданий и т.д. Задача синтеза новых знаний может быть представлена как

задача формирования образа решения путем конструирования единого текста из текстовых фрагментов соответствующих документов. Такой текст представляет собой образ решения и может быть использован для поставленной задачи, решения которой ранее не существовало.

Отмечается, что сложность формального описания естественного языка обуславливает необходимость разбиения процесса обработки текста на отдельные этапы, при этом каждый этап обработки текста соответствует определенному уровню языка и использует только методы, предназначенные для этого уровня. Такое разбиение на этапы позволяет сделать лингвистический процессор модульным, а значит, дает возможность параллельной разработки составных частей процессора и сокращения общего времени разработки.

Модули лингвистического процессора и этапы анализа текста на естественном языке

Отдельными модулями лингвистического процессора выполняются следующие задачи: графематический анализ (сегментация текста), морфологический анализ, синтаксический анализ, семантический анализ, при котором определяется смысл фраз [2]. В [4] к задачам графематического анализа относят разбиение на графемы, выделение структурных элементов слов, определение границ предложений, распознавание сокращений, сборку слов, написанных вразрядку. Выделяется три этапа такого анализа: поиск сокращений и аббревиатур, поиск устойчивых текстовых конструкций с использованием шаблонов, определение границ предложений. А. Н. Рыкунов в [5] отмечает, что морфологический анализ отвечает за анализ отдельных слов, определение их частей речи и морфологических характеристик. Полученные данные в последующем используются на других этапах анализа, в частности, на синтаксическом этапе. В этой же работе выделяют два метода морфологического анализа: словарный метод, требующий наличия словаря всех форм всех слов, и бессловарный метод, который пригоден для анализа отсутствующих в словаре слов. Задача морфологического анализа несловарного слова сводится к определению характеристик, которыми может обладать анализируемое слово; это производится путем морфемного анализа данного слова [6]. В [7] указывается, что результатом этапа синтаксического анализа является дерево синтаксического разбора, показывающее синтаксические связи. Поставленную задачу возможно решать несколькими способами: на основе лингвистических правил, как это сделано в системе ЭТАП 3 [8], либо на основе заранее размеченной коллекции примеров для обучения системы, которая составляется специалистами по языкознанию. К последнему способу относятся применение нейронных сетей и вероятностных моделей, таких как скрытые Марковские модели и вероятностные грамматики. Задачей семантического анализа в [9] называется выявление и представление смысла текста. В указанной работе в качестве способов решения задачи рассматриваются лексические функции, концептуальный (на основе понятий и категорий) и прецедентный (использующий корпус размеченных текстов) виды анализа. Делается вывод о важности модели представления знаний при семантическом анализе. Среди всех таких моделей выделяются группы: логические, фреймовые, семантические сети (ориентированные графы), онтологические.

Представление смысла в виде графовой структуры

Графом называется совокупность двух множеств: множества вершин и множества связей между вершинами. Графовые структуры широко используются при решении задач с помощью компьютерной техники, при этом обработка естественного языка является перспективным направлением применения таких структур, что следует из сходства строения текста (в частности – предложения) на естественном языке и графовой структуры [10]. Например, в качестве вершины графа на этапе графематического анализа может выступать токен, а на этапе семантического анализа – слово, словосочетание или даже предложение. Кроме того, графы, изображенные с применением специальных алгоритмов, программного и аппаратного обеспечения, являются наглядным средством представления взаимосвязей между сущностями, о чем свидетельствуют результаты работы [10].

Применительно к совместному решению задач человеком и машиной, графовые структуры могут использоваться для представления хода решения задачи в виде, пригодном для восприятия как человеком, так и машиной. Процесс решения задачи может быть описан в виде ориентированного графа, полученного в результате анализа одного или нескольких текстов на естественном языке путем выделения смысловых связей между составными частями текстов – словами, предложениями. В этом графе начальным данным задачи соответствует вершина, в которую не входит ни одна дуга, выходящая из других вершин этого графа, а каждому завершающему состоянию соответствует вершина, в которую дуги только входят. Таким образом, графовые структуры могут рассматриваться как универсальное средство для представления данных, которые участвуют в обмене между человеком и машиной.

Заключение

Изложенное выше позволяет прийти к следующим выводам. В связи с развитием технологий в сфере обработки информации связь человека и машины стала более тесной, что в совокупности с

возрастающими требованиями к производительности людей и машин объясняет актуальность проблемы разработки методов преобразования информации в машиночитаемые форматы. Указанное преобразование включает в себя анализ текстов на естественном языке — предмет компьютерной лингвистики. Её задачей является разработка методов построения модульных лингвистических процессоров, где каждому модулю сопоставлен определенный уровень естественного языка.

В качестве универсального формата представления данных целесообразно использовать графовые структуры ввиду их сходства со строением текстов на естественном языке, удобства восприятия человеком, и возможности обработки автоматическими и автоматизирующими методами.

Литература

1. Ронжин А. Л., Карпов А.А., Ли И.В. Речевые и мультимодальные интерфейсы. — М.: Наука, 2006. — 173 с.
2. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика : учеб. пособие / Большакова Е.И., Клышинский Э.С., Ландэ Д.В., Носков А.А., Пескова О.В., Ягунова Е.В. — М.: МИЭМ, 2011. — 272 с.
3. Maksimov N. V., Golitsina O. L., Monankov K.V., Gavrilkina A. S. Methods of visual graph-analytical presentation and retrieval of scientific and technical texts // Scientific Visualization. — 2021. — Vol. 1. — Pp. 138–161.
4. Первушин А. Модуль графематического анализа в системе обработки русскоязычных текстов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах: материалы пятнадцатого научно-практического семинара. — М.: Моск. гос. ин-т электроники и математики, 2012. — С. 187–190.
5. Рыкунов А. Н. Создание метода проведения морфологического анализа несловарных слов в текстах на русском языке для повышения точности работы библиотек JMorfSdk // Материалы XXIII Международной конференции им. Э. К. Алгазина "Информатика: проблемы, методы, технологии". — Воронеж: Воронежский государственный университет, 2023. — С. 1063–1069.
6. Волкова Л. Л., Медведев С. А. Морфологический анализатор текстов на русском языке без использования лексического словаря / «Студенческий вестник»: научный журнал. — № 27(47), ч. 1. — 2018. — С. 6–10.
7. Сбоев А. Г., Рыбка Р. Б., Иванов И. И., Гудовских Д. В., Молошников И. А., Кукин К. А., Власов Д. С. Модель системы синтаксического анализа текстов естественного языка на основе статистически отобранных наборов параметров слов / Современные информационные технологии и IT-образование. — 2013. — № 9. — С. 422–432.
8. Богуславский И. М., Иомдин Л. Л., Крейдлин Л. Г., Фрид Н. Е., Сагалова И. Л., Сизов В. Г. Модуль универсального сетевого языка (UNL) в составе системы ЭТАП-3 // Труды Международного семинара по компьютерной лингвистике и ее приложениям (Диалог'2000). Протвино, 14–16 июня 2000. / под ред. А. С. Нариньяни. — М.: Изд-во РГГУ, 2000. — Том 2. — С. 48–58.
9. Батура Т. В. Методы и системы семантического анализа текстов / Программные продукты и системы. — 2016. — № 4. — 5 с.
10. Кормановский М. В., Артюхин Н.П., Косарев А.А., Шагалов В.А., Кузнецова А.В., Бурлаков И.А., Никулина А.А. Граф на основе расстояния Левенштейна и его визуализация // Проблемы лингвистики и лингводидактики в неязыковом вузе. — 2023. — Т. 1. — С. 310–319.

ПРОТОТИП ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Крутских А.В., Корнеева Е.И.

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»
+7 (964) 165-59-89, mister.krutskih@mail.ru, yelena.korneeva@ya.ru

Рассмотрена методика решения теплофизической и статической задачи определения огнестойкости строительных конструкций, в том числе в композитных материалах с дополнительным армированием фиброй. Представлена постановка задачи и функциональная схема для программного обеспечения с описанием модулей для теплотехнического и статического расчета, справочно-вычислительного модуля с базой данных материалов и пожарных нагрузок.

Ключевые слова: расчёт предела огнестойкости, теплотехническая задача, статическая задача, фибробетон.

The method of solving the thermophysical and static problem of determining the fire resistance of building structures, including composite materials with additional fiber reinforcement, is considered. A problem statement

and a functional diagram for software with a description of modules for thermal engineering and static calculation, a reference computing module with a database of materials and fire loads are presented.

Keywords: calculation of the fire resistance limit, thermal engineering problem, static problem, fiber concrete.

Введение

При проектировании и строительстве зданий и сооружений неизменно ставится вопрос об эффективном сопротивлении их опасным факторам пожара. основополагающими факторами, подлежащими обязательному учету при проведении такой оценки, являются материалы, используемые в конструкции, их теплопроводность, а также стойкость к высоким температурам. Кроме того, следует учитывать влияние других факторов: архитектурные-конструкторские особенности, функциональное назначение здания, потенциальная пожарная нагрузка. Инженерные решения, направленные на повышение огнестойкости, могут включать применение специальных защитных покрытий для замедления прогрева материалов или использование несгораемых конструкций.

Фибробетон как специальный вид бетона и цементное вяжущее, благодаря своей уникальной структуре, демонстрирует превосходные характеристики при высокой температуре [1]. На современном этапе развития строительной инженерии наблюдается тенденция к комплексному подходу в армировании бетонных конструкций. Использование исключительно дискретного армирования в виде фибры в бетонном конгломерате является маловероятным, особенно в несущих элементах сооружений. Речь скорее идет о композитном материале, в котором фибра является дополнительным армированием к основному классическому стержневому армированию из стальной арматуры. Бетон, будучи негорючим материалом, обеспечивает защиту арматурных элементов от прямого огневого воздействия. Таким образом, при оценке огнестойкости конструкций из армированного бетона следует уделять особое внимание показателю по пределу огнестойкости по потере несущей способности вследствие обрушения конструкции (признаку "R").

Моделирование огнестойкости бетонных конструкций с помощью программных средств представляет собой важный этап, который позволяет рассчитать характеристики бетона и, при необходимости, оптимизировать выбор материалов. Как правило, для программного решения используется специализированный пакет программ. Если брать опыт стран Европы и США, то используются пакеты SAFIR (Бельгия), TASEF (Швейцария), ANSYS (США), BRANZ-TR8 (Новая Зеландия) и другие [2]. В России разрабатывается либо собственное программное обеспечение или модуль для внедрения в программу моделирования, либо используются решения такие как ЛИРА САПР 2020, ANSYS и другие [3, 4, 5]. На сегодняшний день существует ограничение доступа к пакету ANSYS с территории Российской Федерации, что осложняет работу. Кроме программ в [5] может быть рассмотрен для работы пакет ЛИРА САПР, который включает удобный интерфейс, но ограничен в функциях для глубокого анализа огнестойкости, предусмотренного стандартом. Альтернативным решением является разработка собственного программного обеспечения для моделирования огнестойкости бетонных конструкций, в том числе с применением фибробетона. Такое программное обеспечение должно соответствовать национальным стандартам и позволит обеспечить независимость от зарубежных программ. При разработке API программного решения целесообразно предусмотреть два подхода: возможность интеграции функционала в применяемые программы с BIM-технологиями и создание интуитивного визуального интерфейса для доступа к функциям преобразования чертежей в расчётные данные.

Методика расчетов предела огнестойкости

Определение предела огнестойкости строительных конструкций решается экспериментальными и расчетными методами. В общем случае, для определения предела огнестойкости расчётным методом решаются две задачи: теплотехническая и статическая (Рис. 1). Общий вид решения задачи огнестойкости представлен в [4]. Суммируя данные обеих задач, можно получить полное представление о безопасности строительных конструкций в условиях пожара и разработать рекомендации по их улучшению.

Рассмотрим методику расчета [4] в рамках реализуемого программного обеспечения [5].

В качестве исходных данных используются геометрические параметры конструкции: наружный диаметр колонны (D), толщина конструкции (b), толщина защитного слоя бетона (a), расчетная длина колонны (l_0), моменты инерции площади сечения арматуры относительно центра тяжести сечения колонны (I_s) и инерции сечения бетона относительно центра тяжести сечения колонны (I_c). Поперечное сечение конструкции делится на равные части, для каждой из которых считается относительная толщина (δ_i) и доля площади относительно общей площади бетонного сечения (c_i).

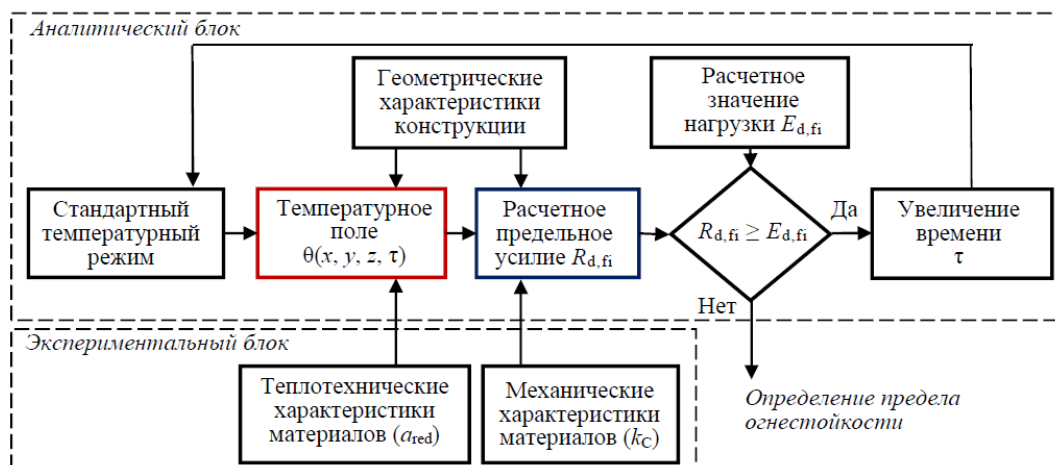


Рисунок 1 – Блок-схема расчета пределов огнестойкости железобетонных конструкций [4]

В результате теплотехнического расчета определяются температурные режимы, возникающие в элементе конструкции в условиях воздействия огня. Для вычисления требуется:

1) Установить физические и теплофизические характеристики бетона и арматуры: кажущаяся плотность бетона (ρ_c) от температуры (θ), плотность стали (ρ_s), коэффициенты теплопроводности бетона и стали (λ_c и λ_s) от температуры, коэффициенты удельной изобарной теплоемкости бетона и стали ($c_{p,c}$ и $c_{p,s}$) от температуры и весовая влажность бетона (W_c). Для текущего эксперимента температура будет измеряться от 20 до 230 °С.

2) Задать расчетное время стандартного огневого воздействия $\tau_{st,f}$.

3) Задать значения коэффициентов: ускорение прогрева сечения за счет неоднородности центрифугированного бетона (k_{het}), увеличение температур в сечении полых железобетонных конструкций (k_{hol}). Задать коэффициент ускорения прогрева сечения тонкостенной конструкции вследствие трещинообразования (k_{th}).

4) Построить модель прогрева.

5) Рассчитать огнестойкость конструкции по выбранной методике.

6) Рассчитать температурное поле в конструкции (θ_w) с учетом коэффициента k_{th} .

Статическая задача оценивает, как изменяется несущая способность конструкции при повышении температуры. В качестве начальных условий принимается равномерное распределение нагрузки по необогреваемой поверхности конструкции с учетом веса конструкции. В качестве граничных условий учитывается шарнирное опирание бетонной плиты по концам (шарнирная подвижная и неподвижная опора). Для вычисления требуется:

1) Задать дополнительные входные данные – физико-механические характеристики бетона и арматуры: характеристическое сопротивление бетона сжатию (f_{ck}) и арматуры (f_{yk}), коэффициенты условий работы бетона (k_c) и арматуры (k_s) при пожаре в зависимости от заданной температуры, средний модуль упругости бетона (E_{cm}) и модуль упругости арматуры (E_s), коэффициенты изменения E_{cm} и E_s при повышении температуры (нагреве) β_c и β_s .

2) Рассчитать коэффициент неоднородности прочностных свойств центрифугированного бетона при высокотемпературном нагреве (k_{cor}).

3) Рассчитать внутренние усилия в конструкции с учетом эффектов 2-го рода и взаимодействия с примыкающими элементами здания при пожаре ($N_{Ed,fi}$ и $M_{Ed,fi}$).

4) Рассчитать сопротивление конструкции с учетом эффектов 2-го рода и взаимодействия с примыкающими элементами здания при пожаре ($N_{Rd,fi}$ и $M_{Rd,fi}$).

После проведения теплотехнической и статической части расчета производится проверка выполнения основного неравенства для предела огнестойкости полученные значения. $N_{Rd,fi}$ не должны превышать $N_{Ed,fi}$ и $M_{Rd,fi}$ не должны превышать $M_{Ed,fi}$. Если условие выполняется, то переходим к модулю распечатки отчета о наступлении предела огнестойкости. Если условия выполняются, то продолжаем вычислительный эксперимент и увеличиваем время огневого воздействия стандартного пожара на выбранное значение $\Delta\tau_{st,f}$.

Описание прототипа программного обеспечения

Опишем прототип программной системы под рабочим названием "Огнестойкость СК" для определения предела огнестойкости строительных конструкций, в том числе для композитных материалов с фиброй. Дополним описание системы в [5].

Система должна включать в себя разделы расчетные модули для теплотехнического расчета и статического расчета, а также справочно-вычислительный модуль для исходных данных и коэффициентов. Справочно-вычислительный модуль должен быть доступен как для авторизованного пользователя, так и для гостевого подключения к системе. Справочные материалы предполагают использование базы знаний с возможностью расширения по следующим разделам:

- основные пожарно-технические характеристики строительных материалов;
- данные по физико-механическим характеристикам материалам: бетона, арматуры, фибры (пределы прочности, модули упругости, коэффициенты условий работы и т. д.);
- справочные сведения о пожарных нагрузках.

Необходимо предусмотреть режим добавления и редактирования справочной информации, авторизацию в системе с возможностью редактирования исходных данных и с возможностью только определить огнестойкость.

Расчетный модуль для учета специфики каждого типа конструкции требуется разделить на несколько частей с учетом классификации по различным материалам: железобетонные и каменные конструкции; металлические конструкции; конструкции из дерева и пластмасс. В расчетном модуле статической задачи требуется графическое отображение коэффициента использования по элементам конструкций (характеризовать элементы, достигшие и не достигшие предельного состояния при воздействии пожара).

Для локального использования системы предполагается проектирование интуитивного визуального интерфейса пользователя, который обеспечит доступ к необходимым функциям. Удобные инструменты для работы с чертежами, позволяющие оперативно преобразовывать их в расчетные данные, будут способствовать более эффективному взаимодействию специалистов и ускорению всего процесса проектирования.

Приведем функциональную структуру программы на Рисунке 2.

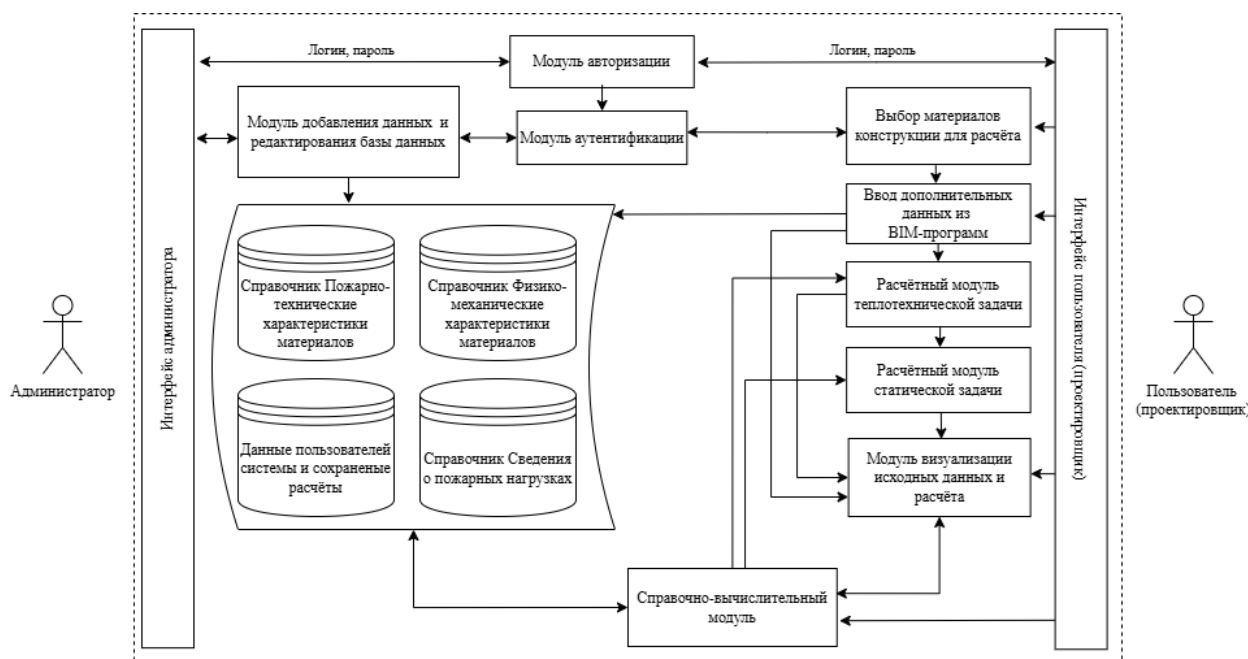


Рисунок 2 – Функциональная структура программного обеспечения "Огнестойкость СК" [Выполнено авторами]

Интерфейс разработанной программы также должен включать:

- 1) Возможность загрузки данных из BIM-программ для исключения переносов данных вручную;
- 2) Сохранение логирования и истории расчётов для пользователя;
- 3) Выбор модуля для использования (будет ли это только справочная информация, теплотехнический расчёт или теплотехнический и статический расчёты);
- 4) Оценку входных данных и сообщения о невозможности расчёта при недостаточных или неверных данных.

Следующий шаг, который необходимо выполнить после проектирования и разработки системы – это комплексное тестирование сначала на известных данных, затем на экспериментальных.

Рассматривается также вопрос о версии программы как API для интеграции в процессы автоматизированного проектирования. Следует использовать современные технологии и стандарты для обеспечения совместимости с различными BIM-системами. Реализация этой возможности требует тщательной проработки как с точки зрения программной архитектуры, так и интерфейса пользователя. Такой подход не только упрощает процесс проектирования, но и значительно повышает его надежность.

Заключение

В статье рассмотрены основные этапы решения задачи оценки огнестойкости строительных конструкций. Отдельно рассмотрены подходы к решению теплофизической и статической задачи огнестойкости. Описана структура программной реализации справочного и расчетного модулей, функциональная схема программной системы расчета, включающая работу со справочниками, базой данных пользователей и учитывающая требования технического задания.

Прототип программы имеет потенциал к расширению и в будущем позволит эффективно проводить анализ и оптимизацию проектируемых конструкций. Ожидается, что проведение расчетов огнестойкости в системе помогут в вопросах моделирования с помощью программных средств «не классических» строительных материалов (модификаций бетонов), что способствует созданию более стойких и долговечных конструкций. Разработка ПО и наполнение справочников основывается на актуальных российских стандартах и нормативных документах в области пожарной безопасности и строительства и не зависит от лицензионных соглашений с зарубежными компаниями.

Литература

1. Rejeesh C. R., Saju K.K. Relative improvements in flame resistance of coir fiberboards treated with fire-retardant solution // Journal of Wood Science. - 2018. - №64. - С. 697–705. DOI:10.1007/s11094-018-1893-3.
2. Еремина Т.Ю., Корольченко Д.А. Обзор программного обеспечения расчета огнестойкости строительных конструкций для различных моделей пожаров // Пожаровзрывобезопасность. - 2020. - №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-programmnogo-obespecheniya-rascheta-ognestoykosti-stroitelnyh-konstruktsiy-dlya-razlichnyh-modeley-pozharov> (дата обращения: 15.08.2024).
3. Нехань Д.С., Полевое И.И. Решение статической задачи огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. - 2021. - №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-staticheskoy-zadachi-ognestoykosti-tsentrifugirovannyh-zhelezobetonnyh-kolonn> (дата обращения: 17.08.2024).
4. Полевое И.И. Определение пределов огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона с применением компьютерного моделирования в Ansys // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. Т. 6. - 2022. - №1. - С. 42 - 57. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-predelov-ognestoykosti-sovremennyh-stroitelnyh-konstruktsiy-iz-zhelezobetona-s-primeneniem-kompyuternogo-modelirovaniya> (дата обращения: 18.08.2024).
5. Крутских А.В., Корнеева Е.И. Обзор программного обеспечения для оценки пределов огнестойкости фибробетонных композитов // Актуальные вопросы научных исследований: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции. - Саратов: НОП «Цифровая наука», 2023. - С. 31-39.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ЭКСПЕРТНО-АВТОМАТНОЙ ЗАЩИТЕ БПЛА В ОПАСНЫХ СИТУАЦИЯХ

Райхлин В.А.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ
varaikhlin@gmail.com

Проведенное рассмотрение носит дискуссионный характер. Его цель: привлечь внимание специалистов к разработке экспертно-автоматного подхода к защите БПЛА от внешних угроз. Сделанные замечания касаются БПЛА самолетного типа среднего класса. Показывается архитектура современных систем автономного управления БПЛА. Утверждается релевантность экспертно-автоматного подхода к автоматизации их управления во внештатных ситуациях (срыв в штопор, прицельно летящий снаряд и др.) с ориентацией на имитацию экспертами-пилотами их интуитивной реакции на внезапно возникшую опасность. Полагается необходимым участие экспертов-специалистов для постановки диагноза опасности. Излагаются принципы организации рассматриваемой системы управления, подходы к построению ее базы данных и автомата защиты.

Ключевые слова: автономное управление БПЛА, релевантность экспертно-автоматной защиты БПЛА, принципы такой защиты, функции экспертов, схема базы данных системы, автомат защиты.

Considerations on expert automatic protection of UAVS in dangerous cases. Raikhlin V.A., Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI

The review carried out is controversial. Its purpose is to attract the attention of specialists to the development of an expert-automated approach to the protection of UAVs from external threats. The remarks made concern medium-class airplane-type UAVs. The architecture of modern UAV autonomous control systems is shown. The relevance of the expert-automatic approach to the automation of their control in emergency situations (corkscrew breakdown, aimed projectile, etc.) with the focus on the simulation by expert pilots of their intuitive reaction to a sudden danger is asserted. Human expertise obviously has to be embedded into system for determination of the danger type. Control system organization principles along with methods to construct protection automata and database are provided.

Keywords: autonomous control of UAV, relevance of UAV expert-automata protection, principles of such protection, human experts role, system database scheme, protection automata.

Введение

По взлетной массе БПЛА можно разделить на классы:

- легкие (микро- и мини-), взлетная масса меньше 20 кг.;
- средние – взлетная масса до 200 кг.;
- тяжелые – взлетная масса до 1500 кг.;
- сверхтяжелые – взлетная масса более 1500 кг.

Различают БПЛА двух категорий:

- с неизменной геометрией крыла (БПЛА самолетного типа),
- винтокрылые (БПЛА вертолетного типа).

Наши дальнейшие замечания касаются, в основном, БПЛА самолетного типа среднего класса.

Пока что системы автоматического управления БПЛА – это достаточно сложные программно-технические устройства, реализующие классические алгоритмы управления [1]. Разработка таких алгоритмов для целей автономного полета требует знакомства с широким диапазоном вопросов, включая преобразование координат, аэродинамику, проектирование автопилота, оценку состояния, машинное зрение и др. Требуется осуществлять автономный взлет и посадку, расчет траектории полета и последующее удержание этой траектории, что подразумевает более высокий уровень принятия решений, чем это доступно простому автопилоту. Почти все области применения БПЛА требуют использования бортовой оптоэлектронной/инфракрасной видеокамеры. Типичной задачей камеры является обеспечение конечного пользователя визуальной информацией. Но она используется и для управления полетом, включая геолокацию и посадку на основе видеосистемы (рис. 1).

Менеджеру маршрута соответствует конечный автомат, который преобразует последовательность точек маршрута в последовательности траекторий прямолинейных отрезков и дуг окружностей, по которым должен лететь БПЛА. Блок следования вдоль траектории полета дает команды автопилоту. Автопилот реализует алгоритмы управления низкого уровня, поддерживает значения углов крена и тангажа, скорости полета, высоты и курсового направления полета.

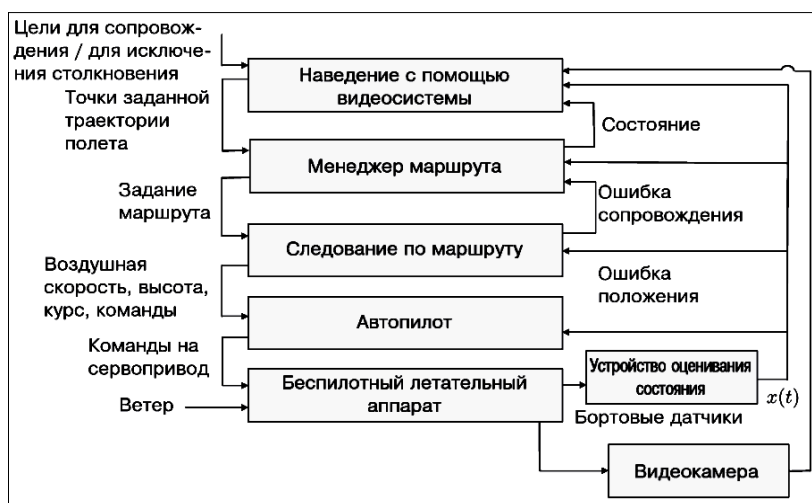


Рисунок 1 – Архитектура программной системы для управления полетом

Автопилот и блоки управления полетом используют оценки состояния, получаемые динамической фильтрацией показаний бортовых датчиков, которые включают акселерометры, датчики угловой скорости, датчики давления, магнитометры и приемники GPS. На рис. 1 видеокамера показана как дополнительный датчик. Полная модель динамики полета описывается многомерной системой нелинейных уравнений. При реальном моделировании используют ее приближенное представление.

Серьезной проблемой является организация полета БПЛА среднего класса при наличии ветра. Ветер оказывает на такие аппараты значительно большее воздействие, чем на крупные летательные аппараты, воздушная скорость которых обычно много больше скорости ветра. Так, например, при порыве ветра 25 м/с (90 км/час) и собственной скорости БПЛА 200 км/час влияние ветровой нагрузки будет весьма значительным. Основное затруднение вызывает реализация требования быть в определенном месте в определенное время в связи с неизвестными и меняющимися воздействиями ветра.

Как утверждают некоторые исследователи [2], для БПЛА со сравнительно небольшим весом классические алгоритмы управления полетом не всегда эффективны. Так, например, реализация противоракетного маневра связана с формированием специальных траекторий движения БПЛА, позволяющих уход аппарата от встречи с зенитной управляемой ракетой (ЗУР) [3]. Для решения такой задачи требуется знание аэродинамических и летно-технических характеристик ЗУР. Сам БПЛА должен иметь бортовое вычислительное устройство (БВУ), которое вырабатывает необходимые сигналы управления. В память БВУ вводят полученные аналитическим путем координаты точки начала управления, точки пикирования и др. точек, через которые проходит траектория БПЛА с минимальной длиной в зоне поражения ракетного комплекса. Но реализовать все это в случае внезапно возникающей угрозы (например, действие ПЗРК) проблематично.

Это выдвигает на повестку дня использование для целей управления БПЛА методов искусственного интеллекта – нейросетевых и др. Характеристики управляющего комплекса существенно улучшаются при нейросетевом управлении полетом БПЛА в режиме захода на посадку и самой посадки [4], решении подзадачи нейросетевого распознавания мобильных объектов при мониторинге контролируемой территории [5], синергетическом синтезе законов управления БПЛА самолетного типа в условиях ветровых возмущений [6], нейросетевом управлении группой БПЛА [7] и др. [8].

К методам искусственного интеллекта можно отнести и предлагаемый ниже экспертно-автоматный подход. К настоящему времени накоплен немалый практический опыт логического управления реактивными системами с использованием автоматного программирования [9]. Оно предполагает управление при наличии автоматного алгоритма. Например, действия автомата при посадке в нормальных условиях: сначала – состояние А, потом (возможно, по получении некоторого сигнала) – состояние В, затем – состояние С и т.д. А если пурга или иная неожиданность? В общем случае должны быть заранее сформированы продукции вида «условие \supset действие» (если \supset то). Автоматное программирование реализует «действие». Выявление самих продукций требует серьезной экспертизы.

«Хотя сегодня при управлении транспортом используются некоторые автоматические средства, методы управления базируются в основном на инженерной эвристике, а не на базовых научных знаниях. Текущая практика проектирования заключается в детальном изучении номинальных операций и их непредвиденных обстоятельств, определении соответствующих действий менеджера транспортного средства, а затем программировании этих действий как правил «если-то-иначе». Технологии информатики (например, экспертные системы, формальная логика и проверочные доказательства) используются для улучшения аспектов программирования, но первоначальные спецификации для каждого действия менеджера по-прежнему находятся в компетенции «экспертов предметной области» [10].

О принципах организации экспертно-автоматной системы управления

Будем ориентироваться на имитацию экспертами интуитивной реакции опытного пилота, условно находящегося на борту аппарата, на внезапно возникшую опасность. Эта реакция должна быть мгновенной. Ее замедление чревато. Задумался – проиграл. Познание человеческой интуиции едва ли доступно человеческому разуму. И все же опытные эксперты-пилоты могут рекомендовать полезные действия, способствующие преодолению такой опасности.

Под автоматизацией управления БПЛА в опасных ситуациях подразумевается дополнительное включение в состав программного обеспечения БПЛА специального модуля – Диспетчера. На его вход непрерывно поступают сигналы датчиков о состоянии аппарата с учетом «окружения». Эксперты-специалисты могут заранее провести диагностику опасности по значениям этих сигналов. При возникновении опасности автомат в составе Диспетчера выдает команды контроллерам, которые управляют работой соответствующих исполнительных механизмов – рулей поворота/высоты, двигателей и др. Исходное задание на синтез цифрового автомата содержит набор правил вида «если \supset то» [11]. В случае

БПЛА они могут быть сформулированы экспертами – пилотами. Отсюда следует релевантность предлагаемого подхода к управлению БПЛА в критических ситуациях.

Согласно предыдущему, на основе анализа сигналов датчиков Диспетчер устанавливает наличие и вид опасности либо ее отсутствие (своеобразный диагноз). Код опасности подается на вход автомата в составе Диспетчера. С его выхода снимается последовательность команд для активизированных контроллеров. Диспетчер осуществляет поиск по вектору $[D_1, D_2, \dots, D_k]$ ($D_i, i \in \overline{1, k}$, – сигнал i -датчика) кода опасности в заранее составленной экспертами-специалистами табл.1., содержащей продукции $\langle \text{Сигналы } D_i \rangle \supset \langle \text{Первоочередная опасность} \rangle \langle \text{Код опасности} \rangle$.

Таблица 1 – Продукции, формируемые экспертами-специалистами

Коды уровней сигналов датчиков				Первоочередная опасность	Код опасности
D1	D2	...	Dk		
00	00	00	00	Нет опасности	000
00	00	00	01	Снос влево	011
...
10	10	10	10	Ракета справа	101

Совокупность сигналов датчиков в отдельной строке таблицы может содержать информацию о множестве опасностей. Из них в таблице указывается первоочередная. Например, при одновременной индикации опасностей сноса аппарата влево и целенаправленно летящей ракеты приоритетной будет вторая опасность. Соответственно множеству antecedentov (левых частей продукции) может отвечать один консеквент (их правая часть). Уровни сигналов на входе Диспетчера: нормальный – код 00, превышение слева – код 01, превышение справа – код 10 (пример датчика ветровой нагрузки; другие угрозы должны быть представлены аналогично). Соответственно число строк табл.1 равно 3^k .

Управление – пошаговое. Для сравнительно простых ситуаций (например, чрезмерная ветровая нагрузка) стереотипные шаги управления, определяемые видом опасности, повторяются, пока эта опасность действует. В более серьезных случаях (например, срыв в штопор) организуется соответствующий маневр, в реализации которого могут принимать участие несколько механизмов. Соответственно могут быть последовательно (от такта к такту) задействованы несколько контроллеров.

Программная модель автомата заведомо формируется с участием экспертов-пилотов для обработки мыслимого множества угроз. Семантика входных и выходных сигналов автомата – упрощенная: превышение порога отклонения вправо/влево → угловой шаг разворота влево/вправо, поражающий снаряд в том или ином направлении → пошаговый маневр и т.д. По нормализации ситуации автомат переводится в пассивное состояние. Автомат многофункционален, предназначен для управления рядом исполнительных механизмов в различных опасных ситуациях.

В табл. 2 представлен синхронный автомат [11], все состояния которого неустойчивы, для реализации способов защиты: лево/право, вверх/вниз, маневр 1, маневр 2, маневр 3. Здесь $X^k \neq X_0$ – код опасности. Коды Z_{mpj} , $p, j \in \{1, 2, \dots\}$ – бинарные коды команд для последовательно иницируемых контроллеров K_j . Значение $X^k = X_0$ говорит об отсутствии опасности.

Таблица 2 – Автомат защиты БПЛА

X^k	$X_0 := 000$	$X_1 := 001$	$X_2 := 011$	$X_{3B} := 010$	$X_{3B} := 110$	$X_{M1} := 111$	$X_{M2} := 101$	$X_{M3} := 100$
1	1, Z_0	2, Z_L	2, Z_P	2, Z_{BB}	2, Z_{BH}	2, Z_{M11}	2, Z_{M21}	2, Z_{M31}
2	1, Z_0	3, Z_L	3, Z_P	3, Z_{BB}	3, Z_{BH}	3, Z_{M12}	3, Z_{M22}	3, Z_{M32}
3	1, Z_0	4, Z_L	4, Z_P	4, Z_{BB}	4, Z_{BH}	4, Z_{M13}	4, Z_{M23}	4, Z_{M33}
4	1, Z_0	5, Z_L	5, Z_P	5, Z_{BB}	5, Z_{BH}	5, Z_{M14}	5, Z_{M24}	5, Z_{M34}
5	1, Z_0	1, Z_L	1, Z_P	1, Z_{BB}	1, Z_{BH}	1, Z_{M15}	1, Z_{M25}	1, Z_{M35}

При наличии опасности, если ситуация не нормализуется на пятом шаге (наш пример), то процесс повторяется. В случае возникновения новой приоритетной опасности до окончания цикла ликвидации предыдущей, сначала происходит восстановление начального состояния, затем выполняется переход в нужный столбец. По ликвидации опасности – переход в столбец $X^k = X_0$. Управление передается базовой системе автоматического управления БПЛА.

О подходе к организации базы данных Диспетчера

Инфологическая схема базы данных Диспетчера в случае стековой реализации автомата показана на рис. 2а. Здесь [Stack] – набор стеков, каждый из которых реализует последовательность действий по преодолению одной опасности (соответствующий столбец табл. 2). Взаимодействие между компонентами БД таково: Сначала по набору показаний датчиков из отношения Alarm извлекается код опасности (Alarm_code). По этому коду в наборе отношений [Stack] выбирается стек, имя которого Stack_num = Alarm_code.

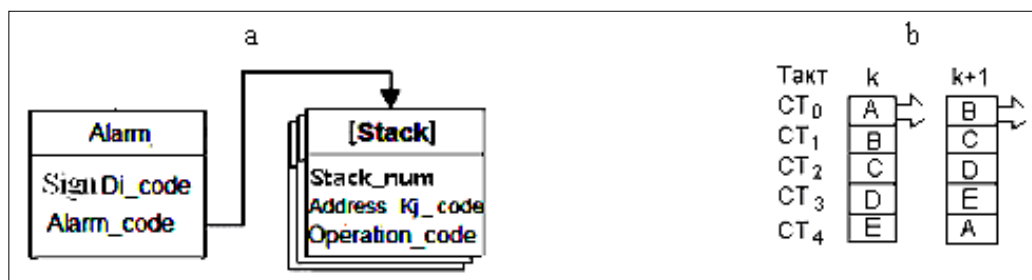


Рисунок 2 – а) предлагаемая инфологическая схема БД Диспетчера;
б) функционирование стека, реализующего столбец автомата

Функционирование стека показано на рис. 2б. Содержимое стека адресует набор последовательно иницируемых контроллеров и выполняемые ими команды. Соответствующая информация

<Adress Kj_code><Operation_code>

пересылается из вершины стека по локальной сети БПЛА согласно принятому протоколу. Указатель вершины стека – кольцевой счетчик. При изменении кода опасности отработавший стек сначала должен быть переведен в исходное состояние (такт k на рис. 2б) путем сброса этого счетчика.

Заключение

Выше изложены основные идеи предлагаемого подхода. Автор глубоко убежден в том, что в неожиданно возникающих экстремальных ситуациях действенная защита самолетных БПЛА среднего класса возможна только путем имитации интуитивных действий опытного пилота, условно находящегося на борту БПЛА. Это достижимо для экспертов–пилотов. Диагностику опасности могут провести эксперты–специалисты. И все же, от идей до их конкретной реализации – долгий путь. Дискуссия по этому вопросу будет полезна.

Безусловно, приведенные рекомендации требуют тщательной проработки. Это касается не только организации коллектива экспертов, но и трюичного представления (динамической фильтрации) показаний датчиков, выбора шага дискретизации процесса защиты, требований к скорости реакции исполнительных механизмов и быстрдействию программных компонентов, возврата на заданный маршрут по окончании маневра.

Практическая реализуемость рассмотренных принципиальных возможностей требует специального обсуждения, привлечения к разработке предлагаемого подхода коллектива специалистов и пилотов. Полагаю, что работоспособность изложенных идей может быть проверена моделированием процесса преодоления достаточно серьезной опасности (буран, срыв в штопор или др.) с использованием имеющихся симуляторов [12].

Литература

1. Биард Рэндал У. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Перевод с англ. /Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн – Москва: ТЕХНОСФЕРА. 2015. – 312 с.
2. Воронков, Ю.С. Миниатюрные беспилотные летательные аппараты и особенности их создания /Ю. С. Воронков, О.Ю. Воронков //Современные наукоемкие технологии. – 2013. №10-1. – С.144-147.
3. Арапов О.Л. К вопросу о противоракетном маневре /О.Л. Арапов, Ю.С. Зуев //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2015. №1. – С.34-46.

4. Кузин А.В. Нейросетевая реализация автоматического управления безопасной посадкой беспилотного летательного аппарата /А.В. Кузин и др. //Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск №70.
<https://www.mai.ru/science/trudy/>
5. Гончаренко В.И. Интеллектуальная система планирования групповых действий беспилотных летательных аппаратов при наблюдении наземных мобильных объектов на заданной территории /В.И. Гончаренко и др. //Известия РАН. Теория и системы управления, 2021, № 3, С.39-56.
DOI: 10.31857/S0002338821030057
6. Веселов Г.Е. Комбинированный метод синергетического синтеза законов управления пространственным движением БПЛА с жестким крылом в условиях ветровых возмущений /Г.Е. Веселов, А.Ингабире //X Всероссийская научная конференция «Системный синтез и прикладная синергетика», С.42-50. DOI: 10.18522/syssyn-2021-7
7. Кудров М.А. Интеллектуальный алгоритм управления группой беспилотных аппаратов /М.А. Кудров и др. //ИТиВС, 2019, выпуск 4, С.3–11. DOI: 10.14357/20718632190401
8. Тюменцев Ю.В. Нейросетевое моделирование адаптивных динамических систем. Дисс. докт. техн. наук /Ю.В. Тюменцев //МАИ, 2016. – 432 с.
9. Shalyto, A.A. Logic Control and "Reactive" Systems: Algorithmization and Programming /A.A. Shalyto //Automation and Remote Control. – 2001. N1. – P. 1-29.
10. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2000. Uninhabited Air Vehicles: Enabling Science for Military Systems. //Washington, DC: The National Academies Press – 108p.
<https://nap.nationalacademies.org/read/9878/chapter/10#86>
11. Raikhlin, V.A. Automaton synthesis from a nonformal specification /V.A. Raikhlin //Cybernetics and Systems Analysis. – Volume 30. Issue 4. – July 1994. – Pages 496-504.
12. Simulink Simulation and Model-Based Design – MATLAB
<https://www.mathworks.com/products/simulink.html>

ЗАМКНУТЫЕ СИСТЕМЫ С МАГНИТНЫМИ МУФТАМИ

Сапсалева А.В., Богданов В.В., Куратов К.А., Савин Н.П.
Новосибирский государственный технический университет
+7 (909) 532-32-16, av@sapsalev.ru

Построена структурная схема электромеханической системы с магнитной муфтой и реализацией внешнего демпфирования полумуфт за счет обратных связей по скорости. На модели, реализованной в программном продукте Simulink – MatLab, получены и проанализированы графики изменения скорости входного и выходного валов магнитной муфты в разомкнутой системе и системе с внешним демпфированием. Рассмотрено применение пропорционального регулятора скорости для реализации требуемых параметров привода при использовании отрицательных обратных связей для внешнего демпфирования скорости полумуфт.

Ключевые слова: Магнитные передачи, структурная схема, колебательный процесс, обратная связь, внешнее демпфирование.

Closed systems with magnetic couplings Sapsalev A.V., Bogdanov V.V., Kuratov K.A., Savin N.P.
Novosibirsk State Technical University

Abstract: The structural scheme of the electromechanical system with magnetic coupling and realization of external damping of coupling halves due to speed feedbacks is constructed. On the model realized in Simulink - MatLab software product, the graphs of change of speed of input and output shafts of magnetic coupling in open loop system and system with external damping are obtained and analyzed. The application of proportional speed controller to realize the required drive parameters when using negative feedbacks for external damping of the speed of the coupling halves is considered.

Keywords: Magnetic transmissions, structural scheme, oscillatory process, feedback, external damping.

Введение

В последнее время наблюдается все возрастающий интерес к магнитным передачам механической мощности: магнитным муфтам, магнитным редукторам, магнитным редукторам с регулируемым коэффициентом редукции – магнитным вариаторам. Это обусловлено рядом несомненных преимуществ магнитных передач по сравнению с механическими. Отсутствие жесткой механической связи позволяет отказаться от смазочных материалов, исключает соударения при резких изменениях нагрузки, что повышает надежность и экономичность эксплуатируемых устройств, открывает возможность создания

герметичных электромеханических передач энергии. Эти качества делают их незаменимыми в условиях безлюдных технологий при эксплуатации автономных объектов авиакосмического, подводного и подземного транспорта. Магнитные передачи механической энергии позволяют эффективно их использовать в условиях низких температур регионов крайнего севера и Арктики. Прогресс в создании высокоэнергетических магнитов на основе сплавов редкоземельных металлов, обладающих большой коэрцитивной силой [1,2], обуславливает еще более широкое внимание к исследованиям в этой области [3,4].

Проводимые исследования в области магнитных передач при их использовании в электромеханических системах показывают наличие существенных колебательных процессов по скорости при возмущениях, как со стороны ведущего вала, так и ведомого [4-6].

В докладе рассматривается возможность снижения колебаний в магнитных передачах путем применения внешнего демпфирования.

Структурная схема электромеханической системы с внешним демпфированием

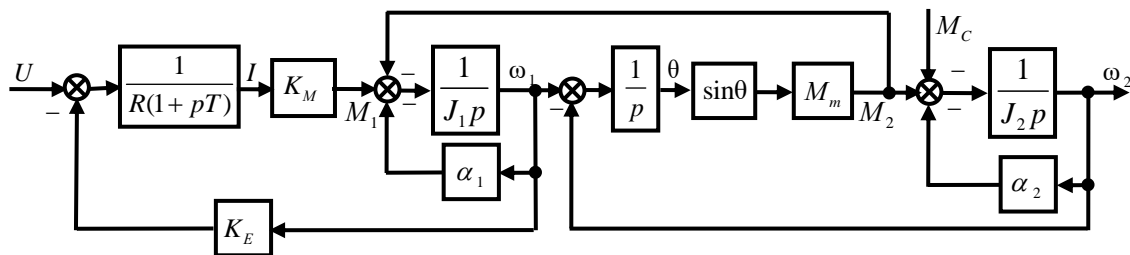


Рисунок 1 – Структурная схема системы с внешним демпфированием

На основе моделей электромеханической системы с магнитной муфтой, которые рассмотрены в [4], можно сформировать структурную схему привода с внешним демпфированием полумуфт. При реализации внешнего демпфирования, которое осуществляется путем введения обратных связей по скорости полумуфт, структурная схема электромеханической системы будет иметь вид, приведенный на рис. 1.

Структурная схема системы построена на основании следующей системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} M_1(p) &= K_M [U(p) - K_E \omega_1(p)] / [R(1 + Tp)], \\ \omega_1(p) &= K_M [M_1(p) - M_2(p) - \alpha_1 \omega_1(p)] / J_1 p, \\ \omega_2(p) &= K_M [M_2(p) - M_C(p) - \alpha_2 \omega_2(p)] / J_2 p, \\ \theta &= [\omega_1(p) - \omega_2(p)] / p, \\ M_2(p) &= M_m \sin \theta. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

При записи уравнений приняты следующие обозначения: M_1, J_1, ω_1 и M_2, J_2, ω_2 - электромагнитный момент, приведенный момент инерции и скорость вращения вала, соответственно ведущей и ведомой полумуфт, θ - угол рассогласования ведущей и ведомой полумуфт, $T = L/R$, L и R индуктивность и сопротивление якорной цепи двигателя.

Известно, что при малых углах рассогласования θ механическую характеристику муфты можно аппроксимировать прямой линией [4,5]. В этом случае момент упругого закручивания равен $M_2 = M_m \theta$, чему будет соответствовать линейная система уравнений и линейная модель структурной схемы.

Упругость магнитной связи между полумуфтами способствует возникновению колебательных процессов в электромеханических системах с магнитной передачей механической мощности. В то же время анализ, проведенный в [6], показал, что для линейной модели приводов с магнитной муфтой без внешних обратных связей условия устойчивости всегда выполняются.

Использование внешнего демпфирования полумуфт позволяет ослабить влияние упругости магнитной связи на колебательные процессы в электромеханической системе [7,8]. В структурной схеме двухмассовой системы с внешним демпфированием полумуфт, приведенной на рис. 1, обратные связи воздействуют на узлы формирования момента двигателя и способствуют уменьшению колебаний и стабилизации системы. Возможно формирование внешнего демпфирования с воздействием на ток двигателя.

Структурная схема системы (рис. 1) построена в программе объектно-визуального моделирования Simulink – MatLab. Анализ характеристик проведен при следующих параметрах моделирования:

1. Скорость холостого хода двигателя $\omega_0 = 419$ рад/с.
2. Напряжение питания двигателя $U = 220$ В.
3. Сопротивление и индуктивность обмотки якоря $L = 33$ мГн, $R = 1.3$ Ом.
4. Постоянные двигателя $K_E = 0.5$ В·с/рад, $K_M = 0.5$ Нм/А.
5. Приведенный момент инерции к валу ведущей полумуфты $J_1 = 0.016$ кг·м².
6. Приведенный момент инерции к валу ведомой полумуфты $J_2 = 0.005$ кг·м².

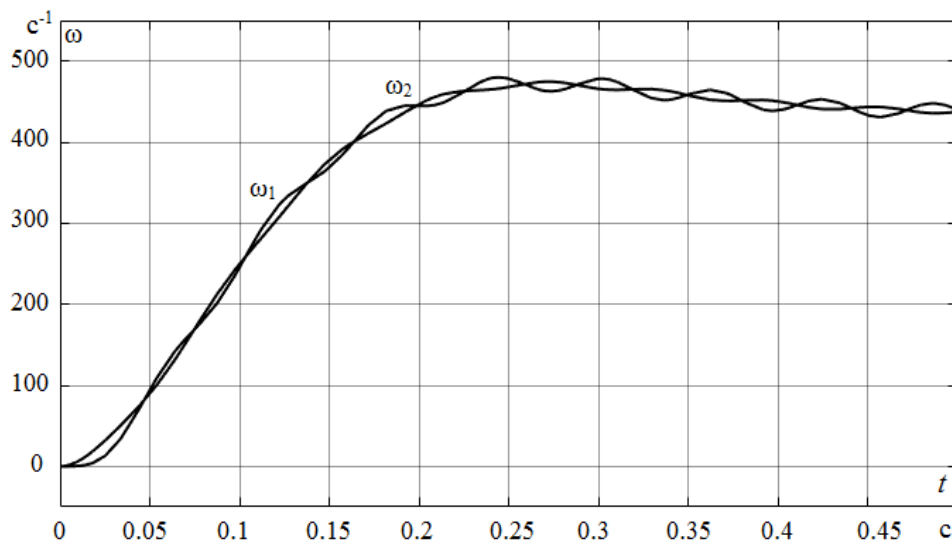


Рисунок 2 – Характеристики разомкнутой системы ($M_c = 0$)

Модель позволяет получить характеристики изменения скорости полумуфт как разомкнутой структуры (без внешнего демпфирования), так и замкнутой. Для этого достаточно положить в модели коэффициенты демпфирования равными нулю.

Результаты моделирования при отсутствии внешнего демпфирования (т.е. для разомкнутой структуры $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$) отражены на рис. 2. На рисунке приведены характеристики изменения скорости полумуфт в процессе пуска до выхода на установившийся режим работы. Характеристики подтверждают, что в разомкнутой системе наблюдаются колебания скорости полумуфт даже в установившемся режиме.

На рис. 3 приведены характеристики системы с внешним демпфированием при $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$. Приведенная осциллограмма подтверждает существенное уменьшение колебаний скорости валов на входе и выходе магнитной муфты. Причем колебания скорости в установившемся режиме не наблюдаются.

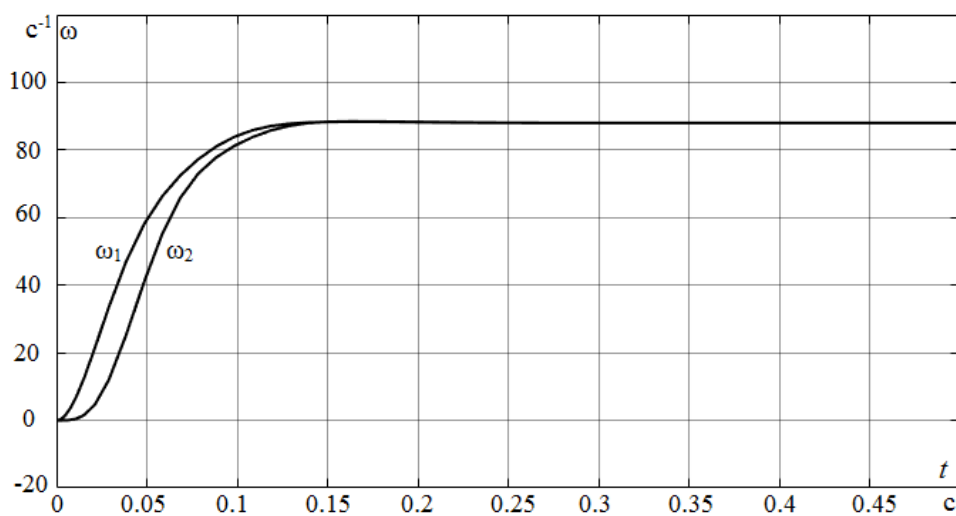


Рисунок 3 – Характеристики системы с обратными связями при $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$

Применение внешнего демпфирования связано с введением отрицательных обратных связей, что естественно приводит к снижению коэффициента усиления между входом и выходом устройства. Для увеличения коэффициента усиления по основному контуру можно использовать безынерционный регулятор по скорости первичной полумуфты ω_1 . Структурная схема электромеханической системы с безынерционным регулятором скорости и внешним демпфированием приведена на рис. 4.

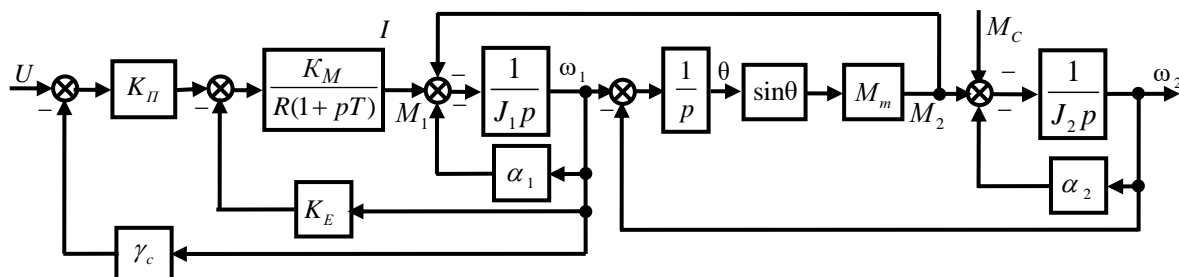


Рисунок 4 – Структурная схема привода с безынерционным регулятором скорости и внешним демпфированием

На рис. 5 приведены осциллограммы изменения скорости полумуфт при коэффициентах демпфирования, равных $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, коэффициент усиления пропорционального регулятора $K_P = 8$, коэффициент обратной связи регулятора по скорости $\gamma_c = 0.2$.

Графики подтверждают, что внешнее демпфирование полумуфт в сочетании с пропорциональным регулятором обеспечивают требуемые параметры привода и стабильность скорости в установившемся режиме работы.

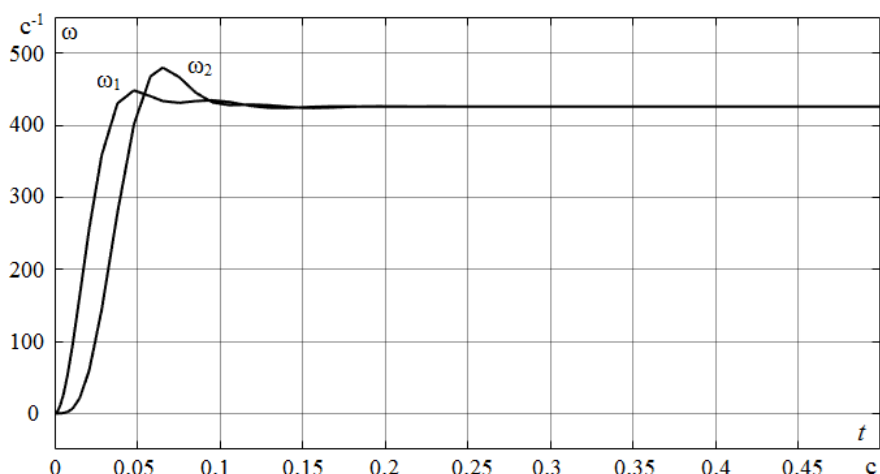


Рисунок 5 – Переходные процессы в системе с пропорциональным регулятором скорости

Вывод

Проведенный анализ динамической модели двухмассовой системы с магнитной муфтой показал, что применение внешнего демпфирования полумуфт с использованием безынерционного регулятора по скорости первичной полумуфты позволяет существенно уменьшить колебания валов ДЭМС и обеспечить стабильность скорости валов полумуфт в установившемся режиме работы.

Дальнейшая задача состоит в детальном анализе устойчивости и динамических процессов в рассматриваемых структурах с внешним демпфированием с учетом нелинейности ДЭМС и разработке методики расчета параметров корректирующих устройств.

Литература

1. Acarnley P. P., Watson J. F. "Review of Position-Sensorless Operation of Brushless Permanent-Magnet Machines", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 53, no. 2, pp. 352–362, Apr. 2006.
2. Тишин А.М. Перспективы применения редкоземельных постоянных магнитов в электроприводах специального назначения. К 100-летию использования постоянных магнитов в технике // Инноватика и экспертиза. –2017. Выпуск 1 (19). – С. 175-192.

3. Кононеко К.Е., Писаревский А.Ю. Исследование конструкций магнитных муфт для передачи вращения через герметичную перегородку в электронасосных агрегатах // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2007. - № 1. – С. 6-10.

4. A. V. Sapsalev, V. V. Bogdanov, M. A. Dybkov, O. B. Davydenko // Structural Modeling of a Magnetic Clutch Russian Engineering Research, 2020, Vol. 40, No. 2, pp. 101–105. © Allerton Press, Inc., 2020. Russian Text © The Author(s), 2019, published in Vestnik Mashinostroeniya, 2019, No. 11, pp. 31–35.

5. R. G. Montague, C. Bingham, and K. Atallah, "Characterisation and modelling of magnetic couplings and gears for servo control systems," Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2010), 5th IET International Conference on, 2010, pp. 1 – 6.

6. A. V. Sapsalev, S. A. Kharitonov and A. A. Achitayev // On the Stability of Bi-Mass Electromechanical Systems with Magnetic Couplings Russian Electrical Engineering, 2022, Vol. 93, No. 1, pp. 1–5. © Allerton Press, Inc., 2022. Russian Text © The Author(s), 2022, published in Elektrotehnika, 2022, No. 1, pp. 2–6.

7. Скорюков С.В., Гуськов А.М. Влияние внешнего демпфирования на динамику жесткого ротора на магнитных подшипниках // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журнал. 2016. №8. С. 202-233.

8. Бургин Б.Ш. Анализ и синтез двухмассовых электромеханических систем. – Новосибирск: НЭТИ, 1999. – 199 с.

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Сафонова И.Е.
РУТ (МИИТ)
irina.chernenko.2011@mail.ru

Приводится краткое описание практической интерпретации теории индивидуального времени с примерами расчетов. Представлена компьютерная программа расчета индивидуального времени физических объектов. Показаны основные этапы работы и схема взаимодействия основных блоков программы, основные этапы алгоритма расчета индивидуального времени физических объектов с учетом действующий на них сил. Приводятся некоторые примеры применения программы расчета индивидуального времени физических объектов на практике.

Ключевые слова: программа, индивидуальное время, физический объект, сила, фундаментальные взаимодействия, блок, алгоритм, моделирование, интерфейс.

The program for calculating the individual time of physical objects. Safonova I.E. Russian University Of Transport (MIIT).

A brief description of the practical interpretation of the theory of individual time with examples of calculations is given. A computer program for calculating the individual time of physical objects is presented. The main stages of work and the scheme of interaction of the main blocks of the program, the main stages of the algorithm for calculating the individual time of physical objects, taking into account the forces acting on them, are shown. Some examples of the application of the program for calculating the individual time of physical objects in practice are given.

Keywords: program, individual time, physical object, force, fundamental interactions, block, algorithm, modeling, interface.

Введение

В 1915-1916 годах А.Эйнштейном была опубликована общая теория относительности (ОТО) – геометрическая теория тяготения, которая является дальнейшим развитием специальной теории относительности. В ОТО пространство и время являются динамическими величинами – если движется тело или действует сила, это изменяет кривизну пространства и времени, а структура пространства-времени влияет на то, как движутся тела и действуют силы. Без представлений о пространстве и времени нельзя говорить о событиях во Вселенной.

В данной статье приводится краткое описание практической интерпретации теории индивидуального времени [1, 2]. Представлена программа расчета индивидуального времени объектов.

Теория индивидуального времени (или времени-силы) физических объектов позволяет объяснить, как и под действием каких сил (фундаментальных взаимодействий) происходит изменение времени для физических объектов. Время-силы показывает индивидуальное время объекта на протяжении его линии движения с учетом того реального факта, что в природе (в нашей Вселенной) все находится в движении. Здесь под объектом понимается физический объект - тело, материальная точка, частица, поле, ..., под процессами следует понимать различные воздействия на объект. Если воздействий нет, то изменений

может не быть, если есть воздействия на физический объект, то могут быть изменения этого объекта. Воздействия на объекты оказывают силы, которые относятся к взаимодействиям. Существуют 4 фундаментальных взаимодействия, но при этом, следует учитывать и «Теорию великого объединения» [3, 4, 5, 7].

Для того, чтобы не было путаницы с другими определениями и понятиями, такими как координатное время, мнимое, солнечное и т.д., это время названо как «индивидуальное время» или «время-силы». Обозначение индивидуального времени (времени-силы): t_F . Размерность: Т. Единицы измерения: в системе СИ с – секунда, т.е. индивидуальное время (время-силы) измеряется в секундах. Для его измерения необходимо одно число, то есть индивидуальное время одномерно.

Индивидуальное время при правильном выборе и учете всех сил, действующих на физический объект, совпадает с собственным временем объекта [1, 6].

Для упрощения вычислений индивидуального времени (время-силы) физического объекта можно ограничиться учетом только нескольких конкретных сил (или учетом одной силы), т.е. рассматривать вклад только определенных сил, действующих на этот объект, также можно рассматривать определенный участок движения. Например – если объекты идентичные, то формулу для расчета индивидуального времени [1] можно упростить и учитывать только несколько конкретных, так называемых рассматриваемых сил. При этом будет вычислено не полное индивидуальное время физического объекта, а t_{F-look} – часть индивидуального времени объекта [1].

Примеры расчетов индивидуального времени физических объектов

Ниже представлены два примера расчета индивидуального времени (или времени-силы) для объектов макромира (макроскопическая физика).

Пример 1 - Влияние сил на ход времени (упрощенный пример). Пусть на планете Земля имеются два физических объекта o_1 и o_2 ; T – период обращения Земли вокруг Солнца за 1 год ($T = 3,16 \times 10^7$ с); длина орбиты Земли равна $939896381,45$ км = 939896381450 м = $9,4 \times 10^{11}$ м (учитывается только эта длина); массы объектов одинаковые $m_1 = m_2 = 3$ кг. o_1 находится на высоте – на горе Джомолунгма, o_2 находится у моря на поверхности Земли.

Объекты двигаются вместе с планетой Земля, Солнечной системой и т.д. относительно поверхности Земли – неподвижны. Скорости объектов равны скорости вращения Земли по орбите $29,765$ км/с = $8,26805555556$ м/с, т.е. $v_{o1} = v_{o2} = const = 8,26805555556$ м/с.

Объект o_1 находится у моря на высоте $h_1 = 0$ км, $g_1 = 9,81$ м/с², атмосферное давление $p_1 = 760$ мм рт. столба (101325 Па – это Н/м²).

Объект o_2 находится на горе Джомолунгма на высоте $h_2 = 8,5$ км, $g_2 = 9,78$ м/с², атмосферное давление $p_2 = 277$ мм рт. столба ($36930,31$ Па – это Н/м²).

Объекты идентичные, на объекты действуют одинаковые силы, кроме двух:

1) F_P (сила атмосферного давления) разная: $F_{Po1} = 101\,325$ Па (Н/м²) $\times 16$ (м²) = $1\,621\,200$ (Н); $F_{Po2} = 36930,31$ Па (Н/м²) $\times 16$ (м²) = $590884,96$ (Н).

2) F_G – гравитация: $F_{Go1} = m_1 g_1 = 3$ кг $\times 9,81$ м/с² = $29,43$ (Н); $F_{Go2} = m_2 g_2 = 3$ кг $\times 9,78$ м/с² = $29,34$ (Н).

Задано, что площади поверхностей каждого объекта o_1 и o_2 равны $S_1 = S_2 = 16$ м².

Пусть на оба объекта действует еще одна сила (относящаяся к другому виду взаимодействия), одинаковая и постоянная для o_1 и o_2 , ее обозначение F_A ; т.е. $F_{Ao1} = F_{Ao2} = const = 27$ (Н) и для примера при расчетах индивидуального времени вклад этой силы пусть будет учитываться. Все другие силы, действующие на объекты, одинаковые, и при оценке разницы во времени ими можно пренебречь (за исключением F_A), т.е. в примере учитывается только вклад этих трех сил в индивидуальное время каждого объекта. Таким образом, в этом примере рассматриваются только внешние 3 силы, которые относятся к двум взаимодействиям.

Для o_1 и o_2 – одна система отсчета, индивидуальное время рассчитывается для одного объекта относительно другого.

По формуле, представленной в работе [1] для данного частного случая можно рассчитать индивидуальное время каждого объекта (точнее часть этого времени). При этом учитываемые 3 силы вносят следующий вклад в индивидуальное время объектов:

для o_1 : $t_{F-look_{o1}} \approx 1,52993482139528 \cdot 10^{-5}$ (с),

для o_2 : $t_{F-look_{o2}} \approx 4,197399414574679 \cdot 10^{-5}$ (с).

Индивидуальное время o_1 «идет медленнее», чем индивидуальное время o_2 ; значение двух сил по модулю (F_P – силы атмосферного давления и F_G – гравитации), действующих на o_1 больше, чем на o_2 . Эти силы и вносят свой вклад в индивидуальное время объектов, замедляя или ускоряя время своим воздействием на объекты.

Разница во времени составляет:

$$\Delta t_{F_{look}o2-o1} = t_{F_{look}o2} - t_{F_{look}o1} \approx 2,667464593179399 \cdot 10^{-5}(\text{с}) \approx$$

0.0000000000084528587 года по Григорианскому календарю.

Тогда можно допустить, что через 120 лет объект o_1 будет «младше» o_2 приблизительно на 0,0000000001014343044 года.

Пример 2 - Влияние сил на скорость и время. Рассмотрим гипотетический упрощенный пример. Пусть два поезда, имеющие одинаковые массы двигаются равномерно, проходят одинаковые расстояния, т.е. их линии движения идентичны и равны. На каждый поезд действуют одинаковые силы (силы одной природы). Оба поезда имеют некоторые характеристики, аналогичные 2ТЭП70; масса $m_1=m_2=282000$ (кг); скорости $v_1 \neq v_2$; сила тяги поездов $F_{K1} \neq F_{K2}$.

Силы, действующие на каждый поезд. На движущийся поезд действуют силы, разнообразные по величине, направлению и действию. Для удобства расчетов все внешние силы, оказывающие влияние на движение поезда, объединяют в три группы и обозначают следующим образом: F_K - сила тяги; W - силы сопротивления движению; F_T - тормозные силы (тормозная сила поезда определяется суммой сил, образованных всеми тормозными колодками подвижного состава).

Силы подразделяются на управляемые и неуправляемые. Управляемые: сила тяги F_K ; сила торможения F_T . Неуправляемые: сила инерции и сила сопротивления движения W . В зависимости от соотношений этих сил, может изменяться характер движения поезда, то есть скорость его движения. Тогда 2-ой закон Ньютона $a=F/m$ – для поезда $a=(F_K - W)/m$,

(1)

где a – ускорение.

Характер изменения движения:

1. F_K больше W – (поезд разгоняется) – условие разгона.
2. $F_K = W$ – условие равномерного движения с $v=const$.
3. $F_K < W$ – условие замедления движения.
4. $0 = F_K < W + F_T$ – условие остановки поезда.

Пусть в примере выполняется условие 2, т.е. $F_K = W$, $v=const$.

Силы тяги, сопротивления движению поезда и торможения являются внешними силами, действующими на поезд, а сила инерции - это внутренняя сила поезда.

Основное сопротивление движению подвижного состава определяется опытным путем, является функцией скорости движения поезда.

Следует отметить, что в тяговых расчетах невозможно обойтись без ряда упрощений, которые позволяют сложные в действительности процессы выразить в виде достаточно простых для практических расчетов схем и зависимостей.

При расчете индивидуального времени поездов и для упрощения вычислений можно ограничиться только рассматриваемыми силами.

Так как оба поезда одинаковые, проходят один и тот же путь, но имеют разные скорости движения, то почти все силы, которые на них на них действуют равны. Поезда отличаются только действием сил, которые зависят от скорости движения – силой тяги и силой сопротивления движению. Следовательно, можно учесть только эти силы.

По формуле, представленной в работе [1] рассчитывается индивидуальное время каждого поезда (часть этого времени) - t_{F-look} , здесь число рассматриваемых сил равно 2, число фундаментальных взаимодействий равно 2, $L_{look1} = L_{look2}$ – линии движения одинаковые.

Для удобства производства расчетов используют удельные силы, т.е. силы, отнесенные к силе тяжести поезда:

удельная сила тяги

$$f_K = \frac{F_K}{m \cdot g} \quad (2)$$

удельная сила сопротивлению движению поезда (по условию)

$$f_K = w. \quad (3)$$

Следовательно, сумма сил, действующих на i -й поезд равна $|F_{Ki}| + |W_i| \approx |f_{Ki}| + |w_i|$.

Для поезда 1:

$v_1 = 26$ (км/ч) = 7,222(м/с) - скорость;

$m_1 = 282000$ (кг) – масса;

$F_{K1} = 608000$ (Н) - сила тяги;

$W_1 = 608000$ (Н) - сила сопротивления движению (по условию движение равномерное $v=const$) и

$F_{K1} = W_1$.

Удельная сила тяги

$$f_{K1} = \frac{F_{K1}}{m_1 g} = \frac{608000}{282000 \cdot 9,81} \approx 0,2197786308658844(\text{Н})$$

удельная сила сопротивлению движению поезда

$$f_{K1} \approx w_1.$$

Индивидуальное время (время-силы) для 1-го поезда равно $t_{F_look1} \approx 4633307,5967763163850367$ (с).

Это значит, что действие рассмотренных сил на поезд 1 соответствует $4633307,5967763163850367(с) \approx 1287,0298879934$ часам $\approx 53,626245333058$ дням $\approx 0,14682367285586$ год (григорианский календарь).

Для поезда 2:

$v_2 = 110$ (км/ч) = $30,555556$ (м/с) – скорость;

$m_2 = 282000$ (кг) – масса;

$F_{K2} = 2572386,8800886181113265$ (Н) сила тяги;

$2572386,8800886181113265(Н) - 30,555556$ (м/с).

Удельная сила тяги

$$f_{K2} = \frac{F_{K2}}{m_2 g} = \frac{2572386,8800886181113265}{282000 \cdot 9,81} \approx 0,929861293689541(Н),$$

удельная сила сопротивления движению поезда

$$f_{K2} \approx w_2.$$

Индивидуальное время (время-силы) для 2-го поезда равно $t_{F_look2} \approx 4633307,5967763123638390(с)$

Действие рассмотренных сил на поезд 2 соответствует $4633307,5967763123638390(с) = 1287,0298879934$ часам = $53,626245333058$ дням = $0,14682367285586$ годам (григорианский календарь).

Таким образом индивидуальное время или время-силы для каждого поезда равно:

$t_{F_look1} \approx 4633307,5967763163850367$ (с),

$t_{F_look2} \approx 4633307,5967763123638390$ (с).

Разница во времени составляет: $\Delta t_{F_look} = t_{F_look1} - t_{F_look2} \approx 0,0000000040211977(с)$.

Следовательно те, кто ехал в поезде 2, который шел с большей скоростью на $0,0000000040211977(с)$ будут моложе тех, кто ехал во 1-м поезде. Поезд 2 ехал с большей скоростью под действием двух сил (удельной силы тяги и удельной силы сопротивления движению), значения которых по модулю больше, чем у 1-го поезда.

Формула расчета индивидуального времени (время-силы), представленная в работе [1] показывает, что скорость не влияет на течение Времени, а влияют силы, которые действуют на объект. У поезда 2 скорость выше и большие силы тяги и сопротивления движению, поэтому время для второго поезда течет медленнее.

Таким образом, индивидуальное время (или время-силы) – показывает вклад сил, действующих на объект на весь период движения, т.к. во все Вселенной находится в движении.

Описание и основные этапы работы программы

По результатам полученных теоретических исследований, представленных в монографии [1] была разработана компьютерная программа, позволяющая проводить расчеты индивидуального времени физических объектов с учетом действующий на них сил.

Основными принципами разработки этой программы являются: системное единство, развитие, совместимость и стандартизация. Требованиями, предъявляемые к программе являются: адаптируемость; эволюционируемость; надежность, включая безопасность; гибкость; достоверность получаемых результатов [8, 9, 10, 11]. На рисунке 1 показана общая схема оценки индивидуального времени объектов.

Программа расчета индивидуального времени физических объектов с учетом, действующий на них сил состоит из следующих основных блоков:

1 – блок ввода и анализа исходных данных,

2 – блок моделирования и решения частных задач,

3 – расчетный блок,

4 – блок анализа полученных результатов, вывод данных.

Схема взаимодействия основных блоков программы представлена на рисунке 2.

Блок 1 позволяет вводить и анализировать исходную информацию.

Блок 2 - моделирование и решение частных задач, предназначен для конкретных частных задач, которые необходимо решить при расчете индивидуального времени физических объектов. Такими задачами являются, например – некоторые задачи классической механики, задачи электродинамики и многие другие.

Заложенные в разработку программы принципы развитие, совместимость и стандартизация, позволяют добавлять в основную программу дополнительные модули.



Рисунок 1 – Схема расчета индивидуального времени (времени-силы)

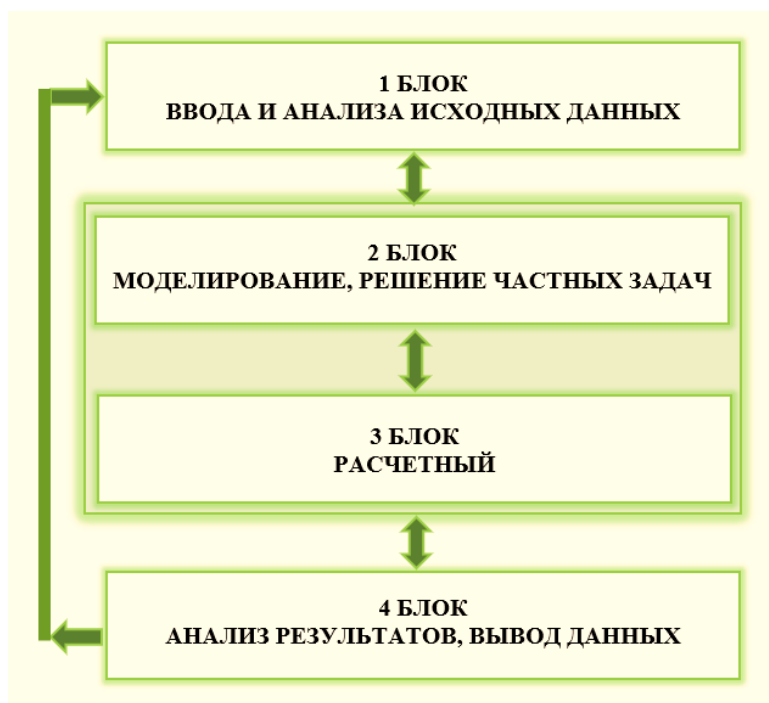
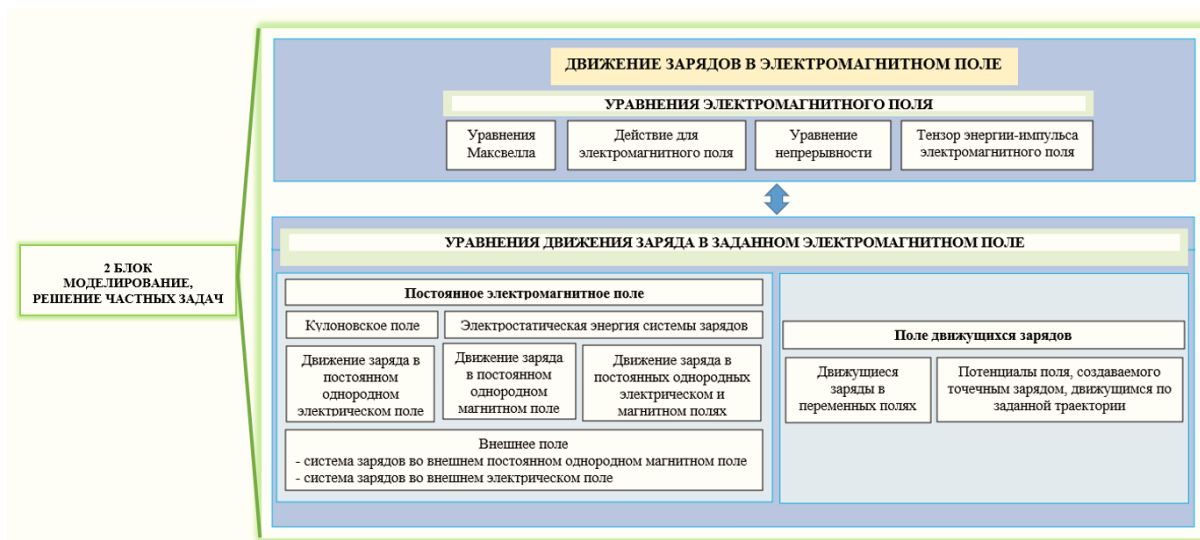


Рисунок 2 – Схема взаимодействия программных блоков

На рисунке 3 показано, что блок 2 содержит такой дополнительный модуль – «Моделирование действия сил при движении заряженных частиц в электромагнитном поле» [8].



2 БЛОК
МОДЕЛИРОВАНИЕ,
РЕШЕНИЕ ЧАСТНЫХ ЗАДАЧ

Рисунок 3 – Моделирование действия сил при движении зарядов в электромагнитном поле

В [8] приводится подробное описание работы этого модуля и математические основы. Представлены уравнения движения, показаны примеры фрагментов работы программного модуля.

Блок 3 предназначен для расчета индивидуального времени объектов - (t_F) по основным формулам, представленным в монографии [1]. Блоки 2 и 3 объединены, так как если нет необходимости в моделировании и решении частных задач, то сразу осуществляется расчет t_F для объектов.

Блок 4 дает возможность проводить анализ результатов, также имеется возможность графического представления результатов. На рисунке 4 показан пример решения одной из частных задач [8, 12, 13, 14].

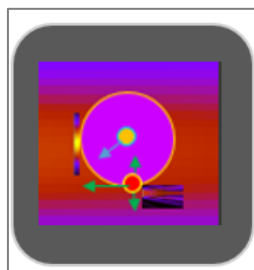


Рисунок 4 – Пример представления результатов моделирования

Основные этапы алгоритма расчета индивидуального времени физических объектов с учетом действующей на них сил

Этап 1. Ввод исходной информации.

1 шаг. Выбор физических объектов для расчета индивидуального времени (времени-силы t_F) каждого из объектов.

2 шаг. Ввод и анализ исходных данных:

- ввод характеристик и параметров каждого объектов, например – масса, габариты, скорость движения и т.д.

- ввод характеристик и параметров пространства и линии движения в пространстве, например – длина пути, неровности поверхности и углы отклонения при движении, высота поверхности и другие.

3 шаг. Определение и анализ сил, действующих на каждый из рассматриваемых объектов при их движении в 3-х мерном пространстве.

4 шаг. Выбор сил, вклад которых будет учитываться при расчете индивидуального времени для каждого из объекта.

5 шаг. Если необходимо, то выбор системы отсчета / системы координат для объектов, иначе переход к шагу 6.

Этап 2.

6 шаг. Определение фундаментальных взаимодействий, к которым относятся силы, действующие на объекты.

7 шаг. При необходимости моделирования и решения частных задач, анализ уравнений движения объектов под действием сил, иначе переход к шагу 8.

8 шаг. Расчет индивидуального времени для каждого из физических объектов.

Этап 3.

9 шаг. Анализ полученных результатов. Если требуется коррекция, то переход к шагу 1, иначе переход к шагу 10.

10 шаг. Вывод данных (t_F) физических объектов.

Программа расчета индивидуального времени физических объектов имеет дружественный интерфейс (рис. 5).

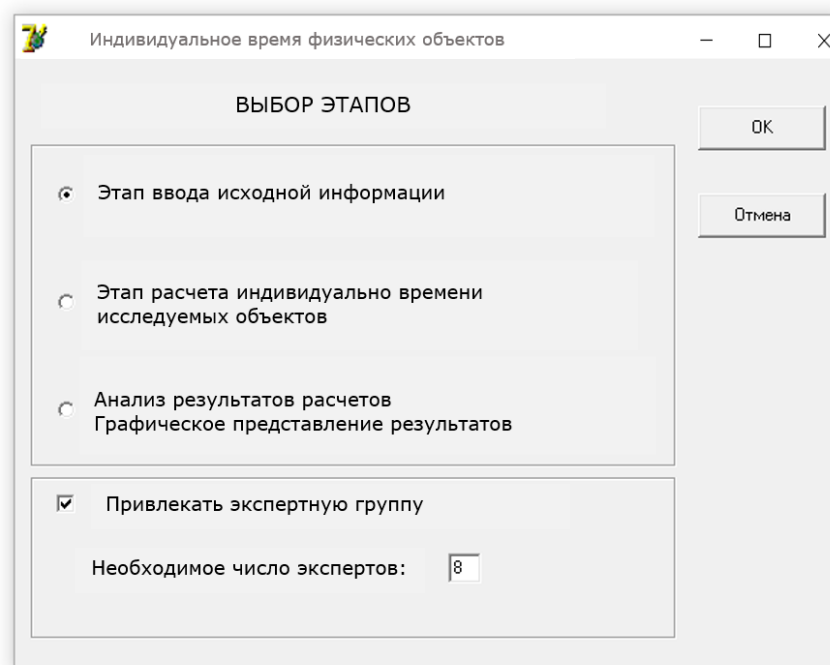


Рисунок 5 – Интерфейс программы расчета индивидуального времени физических объектов

В сложных случаях при необходимости в программе предусмотрена возможность экспертных оценок с привлечением экспертов, таких как, например, астрофизики, разработчики летательных аппаратов, баллистики и других. Экспертная оценка может быть необходима для решения частных задач, при анализе входных и анализе полученных результатов.

Применение программы на практике

Программа расчета индивидуального времени физических объектов может быть полезна с точки зрения ее практического применения.

Расчет индивидуального времени может использоваться в таких областях как: наука, техника, медицина, экономика и социальная сфера, транспорт и т.д. Например: в транспортной отрасли для повышения скорости движения; в биологии для точного определения возраста живых организмов; в геологии для более точной оценки возраста минералов и т.д.

Можно привести еще множество различных примеров практического использования расчетов индивидуального времени t_F .

Следует отметить, что некорректный учет действующих сил на физические объекты при расчетах индивидуального времени (времени-силы) может привести к неверным результатам. Поэтому, если расчет времени дает не похожий на реальную ситуацию результат, то нужно более точно определить действующие на объекты силы, которые вносят вклад в индивидуальное время объектов для этого в программе предусмотрена возможность учета мнения экспертов.

Литература

1. Сафонова И.Е. Время – это силы, а силы – это взаимодействия: научная монография: в 2ч. / И.Е. Сафонова. – М.: Грифон, 2024. – Ч. 1. – 160 с.
2. Словарь русского языка: В 4-х т. / РАН, Ин-т лингвистич. Исследований // Под ред. А. П. Евгеньевой. - 4-е изд., стер. - М.: Рус. яз.; Полиграфресурсы, 1999; (электронная версия). URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008651792> (дата обращения 11.06.2023).
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие в 10 т. / Т. II. Теория поля. 7-е изд., испр. / М.: Наука. 1988. 512 с.

4. Сарычева Л.И. Физика фундаментальных взаимодействий. М.: КДУ. 2008. 220 с.
5. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. М.: Едиториал УРСС. 2005. 216 с.
6. Сафонова И.Е. Пространство, время и принцип относительности. М.: Грифон. 2016. 176с.
7. Леонард Сасскинд, Арт Фриман. Квантовая механика: теоретический минимум / пер. с англ. А. Сергеев. СПб.: Питер. 2015. 400 с.
8. Сафонова И.Е. Программа моделирования действия сил при движении зарядов в электромагнитном поле. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции. / под.ред. С.У.Увайсов – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского. 2020. с.108 - 112.
9. Safonova I.E. The propagation model of gravitational waves in curved space-time /Information Innovative Technologies: Materials of the International scientific – practical conference. /Ed. Uvaysov S. U., Ivanov I.A. – М.: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2018. P. 97 - 101.
10. Safonova I.E. On the question of the time models / Information innovative technologies. 2017. Т. 1. P. 448 - 452.
11. Сафонова И.Е. Моделирование расстояний и промежутков времени / Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2017. № 1. С.447 - 450.
12. Антонюк В.А. Язык Julia как инструмент исследователя. М.: Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, 2019. 48 с.
13. Сафонова И.Е. О постановке задачи компьютерного моделирования пространственно-временных интервалов / Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2016. Т 1. С. 325 - 327.
14. Курнышев Б.С. Заряженная частица в электромагнитном поле (природа сил инерции). / Приволжский научный вестник. 2014. №2 (30). С.5 - 9.

КОМБИНИРОВАННОЕ ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЙ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

Белоногов В.Д.

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)
belonogov@bk.ru

В работе применительно к управлению беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) ставится и решается задача формирования устойчивого алгоритма наблюдения, обеспечивающего получение адекватных оценок координат объекта при использовании непериодических внешних информационных сигналов. Предлагается структура управления, основанная на комбинировании сигналов наблюдателя локальной цифровой системы управления и корректирующих сигналов спутниковой навигации, поступающих с переменными интервалами. Полученные в работе подходы позволяют обеспечить хорошую точность управления высотой и курсом с использованием внешних измерений, стабильные характеристики и высокую точность стабилизации при ветровых возмущениях, действующих на БПЛА

Ключевые слова: цифровая модель непрерывного объекта, дискретный наблюдатель Калмана, цифровое управление по состоянию, матрица перехода, цифровое управление, спутниковое определение координат.

Combined assessment of states in the task of controlling an unmanned aerial vehicle using satellite navigation. Belonogov V.D. Moscow Aviation Institute (National Research University). hbelonogov@bk.ru

In the work, in relation to the control of unmanned aerial vehicles (UAVs), the task of forming a stable observation algorithm is set and solved, ensuring adequate estimates of the coordinates of an object using non-periodic external information signals. A control structure is proposed based on a combination of observer signals from a local digital control system and corrective satellite navigation signals arriving at variable intervals. The approaches obtained in the work make it possible to ensure good accuracy of altitude and course control using external measurements, stable characteristics and high accuracy of stabilization under wind disturbances acting on UAVs.

Keywords: digital model of a continuous object, discrete Kalman observer, digital state control, transition matrix, digital control, satellite coordinate determination.

Введение

При управлении движением беспилотных летательных аппаратов различного применения для организации контуров управления часто используется информация о параметрах движения, полученная за

счёт внешних (вне борта) средств измерений, например измерения специальными оптическими системами, или измерения средствами спутниковой навигации [2,3,5,7]. Такой подход позволяет с высокой точностью определять линейные и угловые координаты, а также скорости их изменения в определенной системе координат и осуществлять в моменты $tk=k \cdot T_0$ ($k=0,1,2,\dots$ - целочисленная переменная, T_0 -шаг дискретности) цифровое управление движением объекта формируя команды управления $u[k \cdot T_0]=F(X)$ в форме обратной связи по вектору x состояния системы [4]. Однако, в технических задачах управления временные интервалы T_0 поступления сигналов в процессе работы могут существенно изменяться, например, как описано в работах [3,6,8,9]. Особенно характерны такие изменения T_0 для управления объектами, при котором используются внешние (вне борта объекта) измерения координат движения, необходимые для управления. В частности это может быть связано с изменением характера передачи по радиотракту [5,9,11], а также обусловлено условиями получения и передачи информации с непрерывных объектов. В работах [3,8] рассматриваются изменения, связанные со спутниковой системой измерений. Для БПЛА, с полётом на малой высоте возможна временная «затенённость» антенн, приводящая к частичной потере сигнала.

Вне зависимости от причин изменения временных интервалов поступления внешних данных будем считать, что период дискретности T_0 , определяющий моменты $tk=k \cdot T_0$ формирование команд цифрового управления является фиксированным. А поступление информации от внешних средств измерения, напротив, является неперiodическим и соответствует моментам $tm=tk - T_0 + m$, где $0 < m \leq T_0$. Здесь параметр m определяет запаздывание в получении данных об измеренных координатах, и величина m может являться случайной величиной, с определенным законом распределения на интервале $(0.. T_0)$. Типичная временная диаграмма моментов поступления информации tm и моментов формирования управления tk представлена на рис.1

При наличии запаздывания, динамические характеристики цифрового контура управления, как правило, ухудшаются, и в некоторых случаях система может потерять устойчивость. В связи этим задача управления в этом случае приобретает характерную специфику и требует специального исследования.

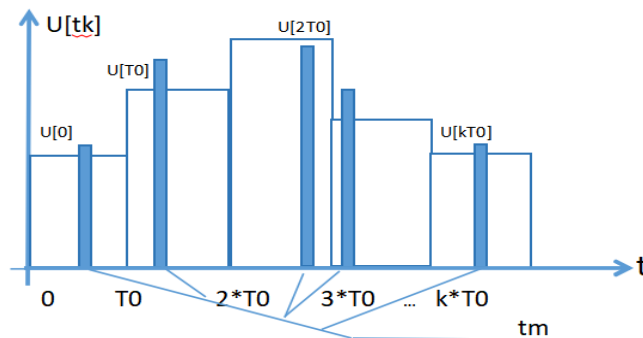


Рисунок 1 – Временная диаграмма: tk - моменты квантования, tm - моменты внешних измерений

Пусть движение объекта управления - БПЛА вместе с исполнительными устройствами описывается линейными дифференциальными уравнениями. Эти уравнения состояния имеют постоянные параметры для определенной миссии полёта (высота, скорость), что характерно для таких систем и описываются в форме:

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u + G \cdot w, \quad (1)$$

$$y = C \cdot x, \quad (2)$$

где x - n -мерный вектор состояния, u - скалярный входной сигнал, y – выходной сигнал, w – l - мерный вектор возмущающих воздействий. Числовые матрицы коэффициентов A, B, G, C имеют размеры соответственно: $(n \times n), (n \times m), (n \times l), (r \times n)$.

Управляющие сигналы u формируются в моменты $tk = k \cdot T_0$ цифровым управляющим устройством в форме обратной связи по оценкам, полученным наблюдателем Калмана, вектора состояния x , в соответствии с цифровым алгоритмом управления

$$u[k \cdot T_0] = f(\hat{x}[k \cdot T_0]), \quad (3)$$

где \hat{x} – оценка вектора состояния, полученная по измерениям координат y с дополнительным использованием некоторых внешних (вне борта объекта) измерений. Будем считать, что внешние измерения координат x непрерывного объекта осуществляются в случайные моменты $tm_k = k \cdot T_0 + m$ со средним периодом T_0 , при этом отклонения от тактовых моментов $k \cdot T_0$, определяемые величиной m не превышают T_0 , т.е. $0 < m \leq T_0$, что иллюстрируется рис.1. При этом также положим, что в каждом периоде T_0 , будет содержаться хотя бы одно измерение, поэтому $tm_k - tm_{k-1} \leq T_0$. Отметим, что период

T_0 соответствует теореме Котельникова (Найквиста – Шенона) [4] для измеряемых сигналов: $\frac{2\pi}{T_0} > 2\omega_{\max}$, где ω_{\max} –наибольшая частота в спектре измеряемых сигналов.

Приведённая модель системы характерна для широкого класса СБЛА при использовании внешних средств измерений, осуществляемых, например, по спутниковой навигации, либо по внешним оптическим измерениям с передачей по радиотракту.

Полагая управление u постоянными на интервале $k \cdot T_0 \leq t < (k + 1) \cdot T_0$ описание дискретной модели непрерывной системы (1) в моменты $tk = k \cdot T_0$ получим в виде:

$$x[(k + 1) \cdot T_0] = \Phi(k \cdot T_0) \cdot x[k \cdot T_0] + D \cdot u[k \cdot T_0] + R \cdot w[k \cdot T_0], \quad (4)$$

где Φ, D, Γ – матрицы $(n \times n)$, $(n \times 1)$, $(n \times 1)$ определяются соотношениями:

$\Phi(\tau) = \exp(A \cdot \tau)$, $D = A^{-1} \cdot (\Phi(T_0) - E) \cdot B$, $R = \int_0^{T_0} \Phi(\tau - t) \cdot \Gamma \cdot w(\tau) \cdot d\tau$, E –единичная матрица $(n \times n)$.

Измерения y координат вектора состояний x производятся в моменты $tm = tk + m$, которые сдвинуты на время m относительно тактовых моментов tk формирования управляющих команд $u[k \cdot T_0]$. Уравнения измерений координат состояния определяется в виде:

$$y[k \cdot T_0] = C \cdot x[k \cdot T_0 + m] + \theta[k \cdot T_0], \quad (5)$$

где C - матрица $(r \times n)$, θ - вектор ошибок измерения.

В настоящей работе для приведённых выше математических моделей системы с БПЛА ставится задача синтеза цифровых алгоритмов комбинированного оценивания с использованием цифрового наблюдателя с уточнением по внешним сигналам, координат состояния для построения обратной связи. Разработанные алгоритмы оценивания основаны на формировании полноразмерного наблюдателя Калмана в комбинации с внешними точными изменениями с учётом переменного смещения m в моментах измерения из (5). Собственно цифровое управление формируется по оценкам \hat{x} состояния, приведенным к тактовым моментам tk так, что характеристическое уравнение системы соответствует некоторому эталонному, что обеспечивает требуемые динамические характеристики и их постоянство. Применительно к расчётной схеме цифрового управления высотой БПЛА самолётной конфигурации с использованием спутниковой навигации для формирования управления получены результаты, характеризующие точность и высокие динамические свойства системы, в том числе в условиях турбулентных ветровых возмущений а также приемлемые оценки требуемых характеристик вычислителя, реализующего рекомендуемые подходы.

Синтез комбинированного наблюдателя

Пусть для дискретных моментов времени $tk = k \cdot T_0$, получена дискретная модель непрерывной системы (1), в предположении использование традиционного устройства выборки и хранения в форме фиксатора, формирующего кусочно-постоянный сигнал управления $u(t) = u[k \cdot T_0] = \text{const}$ при $k \cdot T_0 \leq t < (k + 1) \cdot T_0$.

Также будем считать пару $\{A, C\}$ из (1), (4) полностью наблюдаемой [4], что соответствует невырожденности матрицы наблюдаемости:

$$\det(C^T \cdot A^T \cdot C^T \cdot (A^T)^2 \cdot C^T \dots (A^T)^{n-1} \cdot C^T) \neq 0.$$

При изложенных предположения вектор состояния в произвольный момент времени $k \cdot T_0 + m$ определится в виде[4]:

$$x[k \cdot T_0 + m] = \Phi(m)x[k \cdot T_0] + \int_0^m \Phi(\tau) \cdot B \cdot d\tau \cdot u[k \cdot T_0], \quad (6)$$

где $\Phi(\tau) = \exp(A \cdot \tau)$, $D(T_0 - m) = A^{-1}(\Phi(T_0 - m) - E) \cdot B$, A и B – матрицы из (1).

Для невырожденной матрицы A из (6) получим:

$$x[k \cdot T_0 + m] = \Phi(m) \cdot x[k \cdot T_0] + A^{-1}(\Phi(m) - E) \cdot B \cdot u[k \cdot T_0], \quad (7)$$

По соотношению (7) можно вычислить значение координат в момент $tk = (k + 1) \cdot T_0$:

$$x[(k + 1) \cdot T_0] = \Phi(T_0 - m) \cdot x[k \cdot T_0 + m] + A^{-1}(\Phi(T_0 - m) - E) \cdot B \cdot u[k \cdot T_0]. \quad (8)$$

В формуле (8) выражение $x(k \cdot T_0 + m)$ - это внешние измерения $\hat{x}(tm)$ в произвольный момент. Отсюда, из (8) можно сформировать прогноз вектора x состояния на момент $tk = (k + 1) \cdot T_0$ в виде:

$$\hat{x}[(k + 1) \cdot T_0] / x(k \cdot T_0 + m) = \Phi(T_0 - m) \cdot \hat{x}(tm) + A^{-1}(\Phi(T_0 - m) - E) \cdot B \cdot u[k \cdot T_0].$$

Для вычисления прогноза необходимо по известным значениям $A, \Phi(T_0 - m), u[k \cdot T_0]$ вычислить значение $D(T_0 - m) = A^{-1}(\Phi(T_0 - m) - E) \cdot B$ и получить:

$$\hat{x}[(k + 1) \cdot T_0] / \hat{x}(tm) = \Phi(T_0 - m) \cdot \hat{x}(tm) + D(T_0 - m) \cdot u[k \cdot T_0] \quad (9)$$

Таким образом, по точным внешним измерениям с помощью пересчёта далее можно сформировать уточненный вектор параметров объекта до следующего уточнения в виде:

$$\hat{x}[(k + 2) \cdot T_0] / \hat{x}(tm) = \Phi(T_0) \cdot \hat{x}[(k + 1) \cdot T_0] / \hat{x}(tm) + Du[(k + 1)T_0] \dots$$

Аналогичные последующие уточнения оценок точно также будут вычисляться по поступающим внешним измерениям. После набора n векторов состояния, оцененных по уточненным данным, в

соответствии с уравнением Кэли – Гамильтона [4] вычисляется оценка вектора на последующем шаге квантования.

При невозможности измерения полного вектора состояния на борту, что характерно для управления БПЛА, для организации управления по состоянию целесообразно использовать полноразмерный наблюдатель Калмана, описываемый уравнениями:

$$\begin{aligned}\hat{x}[(k+1) \cdot T_0] &= \Phi(k \cdot T_0) \cdot \hat{x}[k \cdot T_0] + D \cdot u[k \cdot T_0] + Z \cdot (y[k \cdot T_0] - \hat{y}[k \cdot T_0]), \\ \hat{y}[k \cdot T_0] &= C \cdot \hat{x}[k \cdot T_0] + m.\end{aligned}\quad (10)$$

В формуле (10) выбираемый при синтезе векторный параметр Z определяет устойчивость и динамические свойства наблюдателя. В распространённых практических приложениях данный параметр может выбираться переменным, например, в случае реализации оптимального фильтра Калмана [3].

Комбинированная оценка $\hat{x}k$ вектора состояния, формируемая для использования в цифровом законе управления (3) строится в аддитивной форме по оценке $\hat{x}[k \cdot T_0]$ полученной на борту по формуле (10) и оценке из (9), вычисленной по точным измерениям:

$$\hat{x}k[k \cdot T_0] = q \cdot \hat{x}[(k+1) \cdot T_0] + (1-q) \cdot \hat{x}(tm) \quad (11)$$

В формуле (11) весовой параметр q ($0 < q < 1$), характеризующий степень доверия к оценкам должен определяться для каждой конкретной задачи управления, он зависит от наличия погрешностей измерения на борту, наличия помех и возмущений, действующих на аппарат.

Методология расчёта параметров закона управления

Закон управления БПЛА (принят в стандартной форме $u[k \cdot T_0] = F(\sum_1^n \hat{x}_i \cdot k_i)$). Это линейный цифровой закон управления по оценкам состояния, полученным с использованием наблюдателя, комбинированного с точными спутниковыми измерениями описанными выше. Выбор вектора параметров $K = ((k_i))$ очень важен, так как он определяет динамику контура управления и в значительной мере влияет на качество выполнения полётного задания по обработке фрагментов местности. Под такой обработкой, например, для сельскохозяйственного БПЛА подразумевается обработка от вредителей, подкормка растений. При инспекции сооружений это последовательный облет сооружения и т.п. Для определённого круга задач применения БПЛА хорошие свойства управления обеспечивал метод выбора вектора параметров K алгоритма управления, использующий численную оптимизацию критерия вида:

$$J(K) = \int_0^{t_{max}} \{ (Y(t) - y(t, K)) Q (Y(t) - y(t, K))^T + L \cdot V^2 \} dt \quad (12)$$

В выражении (12) обозначены следующие числовые параметры:

t_{max} – параметр, определяющий планируемое время мероприятия, $Y(t)$ – некоторый эталонный процесс, $y(t, K)$ – процессы управления с текущей, выбираемой настройкой, Q – симметрическая весовая матрица, определяющая важность влияния отдельных компонент процесса, зависит от определенной конкретной задачи обработки, L – весовой коэффициент, определяющий важность учёта расхода топлива, V – фактический расход топлива, либо электроэнергии.

Для выбора параметров k_i цифрового алгоритма управления удобна такая процедура, выполняемая при подготовке.

1. В соответствии с планируемыми задачами полёта (ревизия, технических сооружений, мониторинг поверхности, транспортировка грузов и др.) формируется критерий оптимальности $J(K)$ (функция потерь), например, по формуле (10).

2. Для конкретного участка применения, ожидаемых параметров метеоусловий выбираются константы критерия, определяющие веса Q и L (важность отдельных компонент).

3. Производится имитационное статистическое моделирование процессов выполнения задания с учётом метеоусловий, ожидаемых случайных факторов (боковой или вертикальный ветер, уровень влажности и др.) с использованием численных процедур оптимизации параметров.

4. Полученные настройки вводятся в память цифрового блока управления БПЛА.

Следует отметить, что перечисленные операции, при рациональной подготовке программного обеспечения выполняются достаточно быстро и могут занимать незначительное время работы персонального компьютера до начала миссии. В процессе выполнения задания система функционирует с постоянными настройками K .

Модельный пример расчёта

Указанные подходы использовались для построения алгоритма управления в задаче управления и стабилизации высоты полёта БПЛА самолетной схемы при выполнении задачи оценки состояния рельефа местности на протяжённом холмистом участке с существенными перепадами высот. Для реализации был выбран простейший линейный цифровой закон управления высотой H полёта с использованием контура нормальной перегрузки. В качестве измеряемых координат использовалась нормальная перегрузка n_y , измеряемая акселерометром и высота H , измеряемая радиовысотометром. Предварительно в наблюдателе Калмана вычислялись оценки вектора состояния объекта:

$\hat{X} = (\hat{\omega}_z, \hat{\alpha}, \hat{\theta}, \hat{H})$ – угловая скорость, угол атаки, угол наклона траектории, высота соответственно. Полученные оценки корректировались внешними оценками высоты полёта, полученными по спутниковым измерениям. Данные поправки формировались с использованием спутниковых измерений с плавающим периодом 0.8– 3 Гц. Структурная схема алгоритмов наблюдения и управления представлены на рис.2. Данный наблюдатель с линейным контуром управления обеспечивал высокую точность стабилизации высоты в пределах 2-3 метра. Однако, точность стабилизации при турбулентных ветровых составляющих вертикального ветра была неудовлетворительной – рис.3А. Результаты коррекции полноразмерного наблюдателя точными измерениями позволяют, за счёт контроля полного вектора состояния сформировать модальное управление с улучшенными динамическими свойствами - рис.3В.



Рисунок 2 – Структурная схема алгоритмов оценивания состояния и управления

Проведенные исследования модельного примера позволили сформулировать следующие положения.

- Использование комбинированного оценивания координат позволило повысить точность оценивания и, как следствие, улучшить динамические свойства системы.
- Улучшилась робастность и грубость системы, в смысле устойчивости к неконтролируемым изменениям модели объекта и возмущений.
- Введение наблюдателя с комбинируемыми связями, использующими внешние измерения позволяет обеспечить высокое качество управления и стабилизацию в условиях турбулентных возмущений. Типичные процессы управления представлены на рис.3.

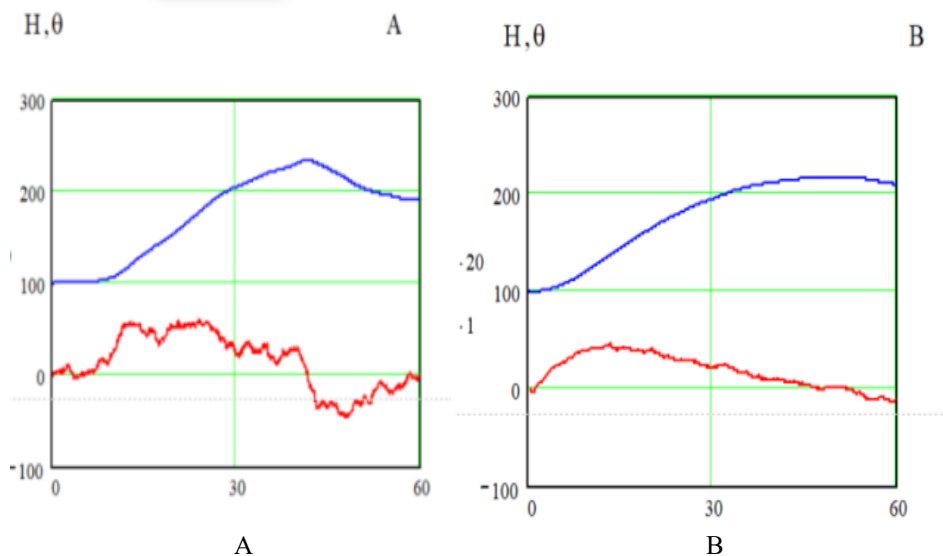


Рисунок 3 – Процессы стабилизации высоты при турбулентных возмущениях: А-стандартный алгоритм оценивания, В-при комбинированном оценивании

Литература

1. Крастин А.В. GPS-технологии в оптимизации сельского хозяйства: от параллельного вождения до аэрофотоконтроля. Международная научно-практическая конференция : «Новая парадигма научного знания в цифровую эпоху», Сборник трудов, Белгород 15 мая 2023, стр 113-123. Сборник трудов, Белгород, 15 мая 2023, стр.113-123.
2. Шмидт, Дж.Т. Эксплуатация навигационных систем на основе GPS в сложных условиях окружающей среды // Гироскопия и навигация. 2019. № 1. С. 3 - 21.
3. Чернодаров А.В., Патрикеев А.П., Иванов С.А. Контроль и защита инерциально-спутниковых навигационных систем от естественных и имитационных помех // Авиакосмическое приборостроение. 2020. № 8. С. 15 – 27
4. Шамриков Б.М. Идентификация, адаптация и управление в условиях неопределённости. — М.: Изд-во МАИ , 2005. – 224 с. : ил.
5. Павлова Г.Г. Юбилейная научная конференция «Вологдинские чтения» // «Учет геофизических факторов, негативно влияющих на работу систем спутниковой связи», Владивосток, 2018, с.75-81.
6. Белоногов В.Д., Перестраиваемый цифровой фильтр с программируемой структурой. Патент на изобретение №2631976 (RU). Изобретения. Полезные модели. Роспатент. Официальный бюллетень №28 , октябрь 2017 г.
7. Panter P. F. Communication Systems Design: Line-of-Sight and Tropo-Scatter Systems. R. E. Krieger Publishing Co, Inc., Melbourne, Fla., 2018.
8. Silver S. Microwave Antenna Theory and Design. MIT Radiation Laboratory Series, Vol. 12, McGraw-Hill Book Company, New York, 2019.
9. Trofimov, S.P., Ovchinnikov, M.Y., Performance scalability of square solarsails, Journal of Spacecraft and Rocket, 2018, 55(1): 241-245.
10. С.В. Соколов, М. В. Полякова, П. А. Кучеренко. Аналитический синтез адаптивного фильтра Калмана на основе нерегулярных точных измерений. Измерительная техника №3, 2018 г., стр.19-23.
11. Е.П. Великанова, Е.П.Ворошилин. Адаптивная фильтрация координат маневрирующего объекта при изменениях условий передачи в радиолокационном канале//Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012 №2(26) ч.1 с.29-35.

ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРЫ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ МЕТОДОМ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Старостин И.Е., Гавриленков С.И.

Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА)

+7 (977) 613-42-35, starostinigo@yandex.ru

Построение математической модели является важным этапом проектирования и эксплуатации систем различной физической и химической природы. Модели упомянутых систем строятся из экспериментальных данных методами теории идентификации, современного машинного обучения в заданном классе моделей. Для задания упомянутого класса корректных моделей может быть использован разработанный в рамках механики, электродинамики и современной неравновесной термодинамики метод математического прототипирования энергетических процессов. Настоящая работа посвящена построению структуры моделей систем различной физической и химической природы для решения упомянутых практических задач.

Ключевые слова: метод математического прототипирования энергетических процессов, структура модели, качественный анализ.

Building the structure of models for diagnostics and prediction of the state of systems of different physical and chemical natures using the method of mathematical prototyping of energy processes. Starostin I.E., Gavrilencov S.I. Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTU GA).

The construction of a mathematical model is an important stage in the design and operation of systems of various physical and chemical natures. Models of the mentioned systems are built from experimental data using methods of identification theory and modern machine learning in a given class of models. To define the mentioned class of correct models, the method of mathematical prototyping of energy processes developed within the framework of mechanics, electrodynamics and modern nonequilibrium thermodynamics can be used. This work is devoted to constructing the structure of models of systems of various physical and chemical natures to solve the mentioned practical problems.

Keywords: method of mathematical prototyping of energy processes, model structure, qualitative analysis.

Введение

В настоящее время важнейшим этапом решения задач проектирования и эксплуатации систем различной физической и химической природы является построение их математических моделей (ММ), позволяющей по измеряемым характеристикам систем определить их контролируемые характеристики [1 – 3]. Подход построения ММ, основанный на концепции черного ящика, хорош простотой, однако полученные ММ невозможно экстраполировать на режимы работы системы, для которых отсутствуют или достаточно мало экспериментальных данных (ЭД) [4]. Приведенного недостатка лишен подход, основанный на ММ физических и химических процессов (ФХП), протекающих в рассматриваемой системе [4], однако такой подход предполагает определение из ЭД большого числа постоянных коэффициентов [4]. Это в свою очередь приводит к необходимости локального упрощения уравнений, описывающих динамику ФХП в рассматриваемой системе [5], при этом также возникает проблема сохранения корректности (т.е. не противоречивости общим физическим законам и физическим особенностям рассматриваемой системы) упрощенных уравнений динамики [5].

Упомянутые проблемы позволяет решить метод математического прототипирования энергетических процессов (ММПЭП), разработанный в рамках современной неравновесной термодинамики, механики и электродинамики [6]. Благодаря чему ММПЭП дает корректные ММ динамики ФХП в рассматриваемой системе (т.е. не противоречащих общефизическим законам (законам сохранения, началам термодинамики, и т.д.), а также физическим особенностям рассматриваемой системы) [6]. Это касается и упрощенных уравнений ММПЭП, т.к. упрощенные уравнения ММПЭП формируются по тому же формализму, что и исходные [6]. Далее строится корректное аналитическое выражение общего решения дифференциальных уравнений ММПЭП (также вбирающее в себя упомянутые физические законы) [6, 7], на базе которого строится преобразованная ММ рассматриваемой системы, применимая для решения вышеупомянутых практических задач [6, 7].

Для построения упомянутой ММ необходимо из уравнений ММПЭП провести анализ динамики системы при различных условиях и перекрестных связей между динамиками [7, 8], на базе которого формируется структура модели, которая затем обучается на ЭД [7 - 12]. Целью настоящей работы является формирование структуры упомянутой ММ рассматриваемой системы на основе ММПЭП, которая затем обучается из ЭД.

Программный интерфейс модуля построения модели системы

В рамках ММПЭП состояние системы однозначно (независимо от ее предыстории) задается ее координатами состояния [6]. Причиной и необходимым условием протекания процессов в системе являются внутренние возмущения в ней, определяемые ее потенциалами взаимодействия (рисунок 1) [6]. Детали динамики определяются внутренними ее свойствами, шкалой которых является диссипативная матрица [6]. Динамика состояния системы определяет динамику ее наблюдаемых и контролируемых параметров [6]. Измеряемые и контролируемые характеристики рассматриваемой системы определяются функциями измеряемых и контролируемых характеристик соответственно [6].

Для построения преобразованной ММ системы необходимо задать аналитическое выражение общего решения системы дифференциальных уравнений ММПЭП с точностью до постоянных параметров, определяемых внешними условиями системы и ее параметрами [7]. Основным требованием к аналитическому выражению динамики системы является его удовлетворяемость концепции убегающего равновесия (т.е. аналитическое выражение должно вбирать в себя диссипативную и управляющую составляющие системы [13]) [7]. Как известно из математического анализа в качестве упомянутых параметров могут быть взяты некоторые опорные точки (ОТ) упомянутых аналитических выражений (точки экстремума, точки перегиба, точки смены медленно меняющегося участка на быстроменяющийся участок и наоборот, прочие характерные точки) [14]. ОТ динамик рассматриваемой системы выбираются, исходя из заданного класса преобразованных моделей системы. Затем выделяются независимые ОТ и строятся аналитические выражения, связывающие прочие ОТ с независимыми и с параметрами внешних условий [7]. На основе упомянутых зависимостей строится искомая ММ системы (рисунок 1), применимая для решения практических задач проектирования и эксплуатации систем [6, 7]. Для построения упомянутых зависимостей необходимо из дифференциальных уравнений ММПЭП получить динамики измеряемых и контролируемых параметров системы [7].

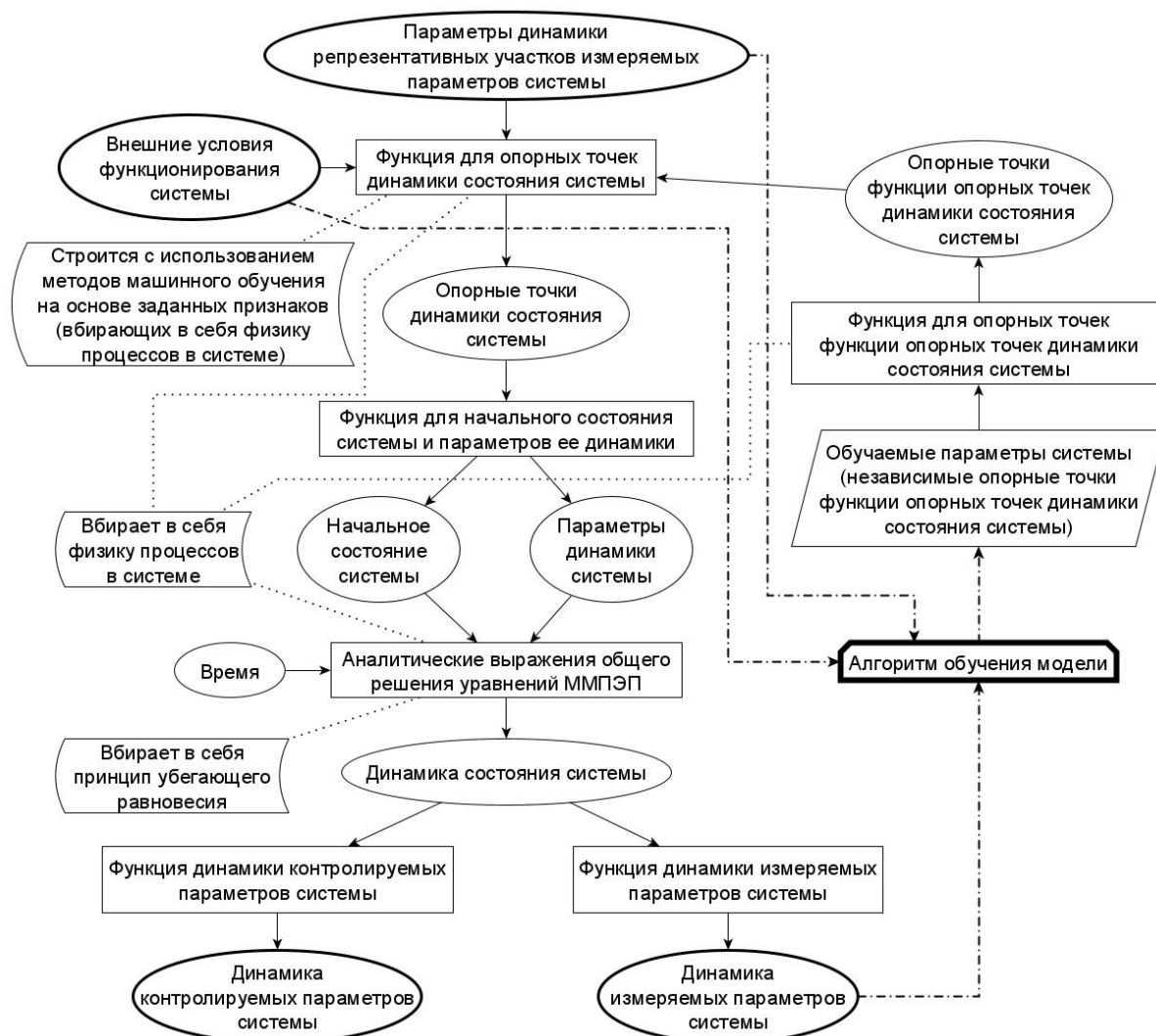


Рисунок 1 – Структура математической модели системы для решения практических задач

Вышеупомянутые постоянные параметры систем, входящие в уравнения ММПЭП, подразделяются на индивидуальные параметры, меняющиеся от экземпляра к экземпляру системы конкретного бренда, а также на прочие параметры, постоянные для всех систем конкретного бренда [7]. Информация об индивидуальных параметрах рассматриваемой системы и ее начальном состоянии заложена в множество репрезентативных измеряемых параметров [7]. Прочие постоянные параметры, входящие в уравнения ММПЭП, одинаковы для всего бренда рассматриваемой системы [7]. Отсюда нетрудно видеть, что для анализа связей между ОТ динамик рассматриваемой системы необходимо (рисунок 2) сгенерировать совокупности параметров системы, одинаковых для всего бренда. Для каждой такой совокупности вышеупомянутых параметров генерируем соответствующие совокупности значений индивидуальных параметров системы и ее начальных состояний. Затем, рассчитав на основе ММПЭП динамику состояния системы, в том числе и динамику ее измеряемых и контролируемых параметров для каждой совокупности одинаковых для всего бренда параметров, строим кривые зависимостей между ОТ динамик системы. Получив описанным образом упомянутые кривые, мы, выделив также ОТ построенных кривых (исходя также из выбранного класса преобразованных моделей системы), строим кривые зависимостей между упомянутыми ОТ (рисунок 2). С этой целью необходимо выделить независимые ОТ. Соответственно искомая ММ строится с точностью до упомянутых выше ОТ (см. рисунок 1), которые настраиваются в процессе обучения ММ системы [7]. Такая ММ гарантированно вбирает в себя физику рассматриваемой системы [7].

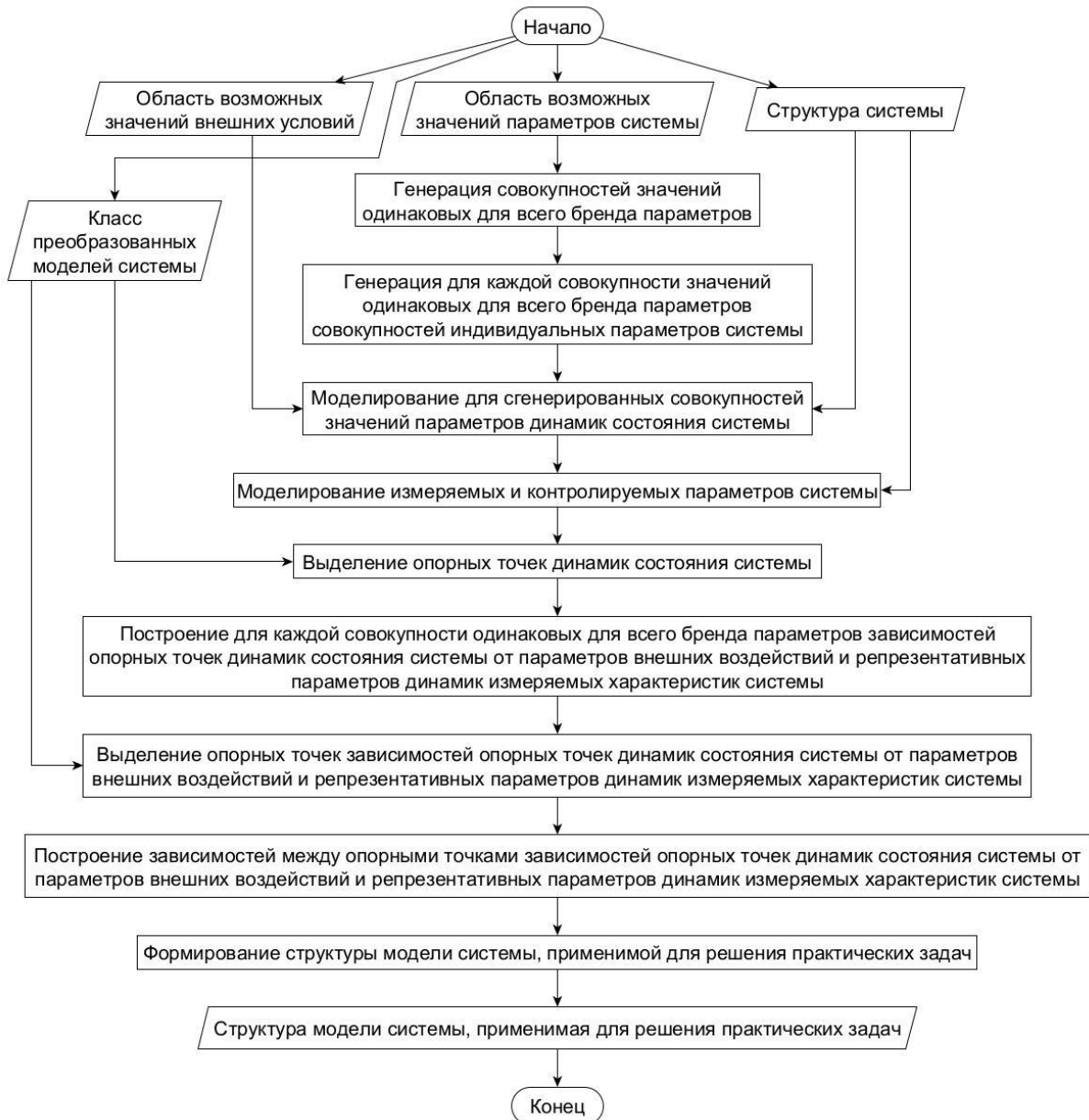


Рисунок 2 – Алгоритм построения структуры модели системы для решения практических задач

Для построения упомянутых выше зависимостей целесообразно, воспользовавшись локальными упрощениями уравнений ММПЭП (сохраняющими корректность уравнений ММПЭП [6]), необходимо перейти к параметрам упрощенных уравнений, связанных с параметрами исходных уравнений [6]. Отсюда упомянутые зависимости между ОТ целесообразно строить путем вариации параметров локально упрощенных дифференциальных уравнений ММПЭП. Отсюда также нетрудно видеть, что для ОТ динамик состояния рассматриваемой системы целесообразно строить кривые зависимости опорных точек от индивидуальных параметров упрощенных уравнений ММПЭП и от параметров внешних условий системы. Именно из этих кривых и строятся составляющие ММ системы (показанные на рисунке 1) в выбранных базисах.

Как нетрудно видеть из рисунка 1, для обучения ММ системы, применимой для решения практических задач, необходимо, исходя из аналитического выражения динамики рассматриваемой системы, построить функцию, позволяющую по динамике измеряемых параметров определить параметры аналитического выражения динамики системы и начальное состояние системы, а по нему и ОТ динамики системы (рисунок 3). Это дает возможность в процессе обучения ММ из ЭД определить вышеупомянутые параметры. Отсюда обучение ММ системы, показанной на рисунке 1, сводится к обучению ММ для ОТ динамики состояния системы (рисунок 3). Функции для ОТ динамики состояния системы могут быть заданы с использованием признаков, получаемых из построенных вышеописанным путем из уравнений

ММПЭП зависимостей для ОТ динамики состояния системы [11]. Аналогично получаемые упомянутым выше путем параметры динамики состояния системы и ее начальное состояние также являются признаками [11].

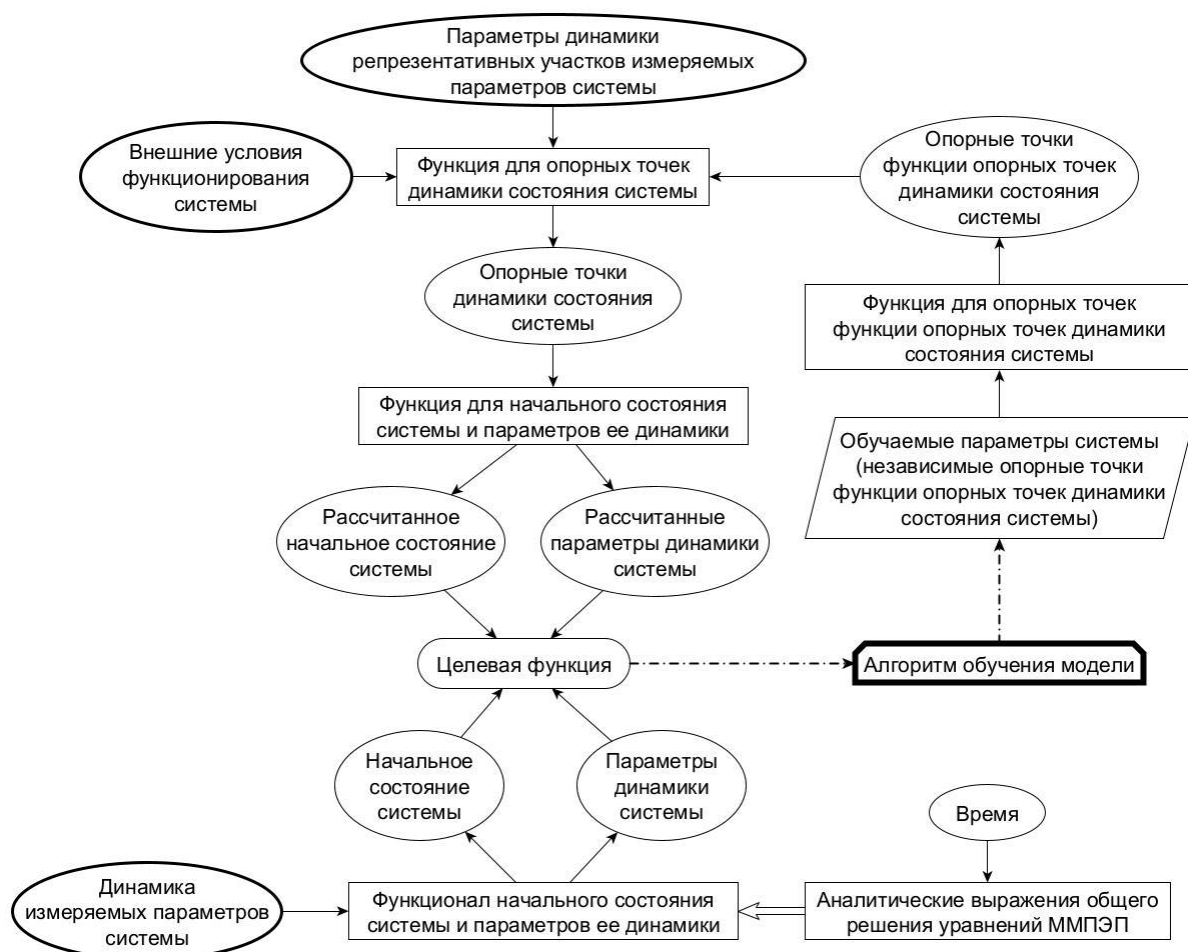


Рисунок 3 – Обучение модели системы, применимой для решения практических задач

Нетрудно видеть, что вышеупомянутые признаки, которые строятся из построенных из уравнений ММПЭП динамик состояния системы и вышеупомянутых зависимостей, вбирают в себя всю физику протекания процессов в системе. Выбор признаков осуществляется также, исходя из выбранного базиса показанных на рисунке 1 составляющих ММ рассматриваемой системы [11], применимой для решения практических задач проектирование и эксплуатации систем различной физической и химической природы.

Показанный на рисунке 2 алгоритм построения структуры ММ рассматриваемой системы принимает на вход области возможных значений параметров системы и ее начальных состояний, а также области возможных значений параметров внешних условий. Области возможных значений параметров внешних условий известны из назначения системы, из условий ее эксплуатации. Области возможных значений параметров системы может быть оценена из уравнений ММПЭП с использованием методов Монте-Карло, заключающихся в генерации значений параметров, входящих в уравнения ММПЭП и начальных состояний системы, с последующим расчетом динамики измеряемых ее характеристик и последующим отбором таких значений упомянутых выше параметров, при которых измеряемые параметры будут находиться в области экспериментальных значений измеряемых параметров [12]. С этой целью применяется стохастическая оптимизация целевой функции, принимающей минимальные значения для расчетных динамик измеряемых параметров, соответствующих экспериментальным значениям [12, 15].

Из рисунка 1 также нетрудно видеть, что показанная на рисунке 1 структура преобразованной ММ рассматриваемой системы может быть положена как в основу моделей для регрессии, так и в основу ММ для классификации, а также вероятностных и логических моделей [11].

Заключение

Итак, роль ММПЭП в построении ММ систем, применимых для решения практических задач проектирования и эксплуатации систем различной физической и химической природы, заключается в вычислении множества динамик состояния рассматриваемой системы при различных условиях ее функционирования и построении зависимостей между ОТ ее динамик и параметрами внешних условий ее функционирования. На основе полученных зависимостей выбираются признаки, и далее методами машинного обучения, теории идентификации из ЭД строятся ММ систем. Приведенный подход таким образом вбирает в себя и преимущества метода черного ящика и метода, основанного на физике протекаемых в системе процессов.

Литература

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. - М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2002. - 333 с.
2. Колодежный Л.П., Черnodаров А.В. Надежность и техническая диагностика. - М.: ВУНЦ ВВС ВВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 2010. - 452 с.
3. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. - М.: Высшая Школа, 1982. - 233 с.
4. Антонов А.В. Системный анализ. М.: Высшая школа, 2004. 454 с.
5. Ланцов В.Н. Методы понижения порядка моделей сложных систем. - Владимир: Изд-во ВлГУ, 2017. - 84 с.
6. Khalyutin S.P., Starostin I.E., Agafonkina I.V. Generalized method of mathematical prototyping of energy processes for digital twins development. / Energies. - 2023. - V. 16, No. 4. - pp. 1933 - 1957.
7. Старостин И.Е. Построение на основе интерполяции моделей различных физических и химических систем методом математического прототипирования энергетических процессов. // Надежность и качество сложных систем. - 2024. - № 1(45). - с. 49 – 59.
8. Старостин И.Е. Проектирование информационной системы синтеза методом математического прототипирования энергетических процессов моделей систем для решения практических задач. / Труды международного симпозиума «Надежность и качество» (г. Пенза). - 2024. - Т 1. - с. 62-70.
9. Стрижов В.В. Методы индуктивного порождения регрессионных моделей. - М.: Вычислительный центр им. А. А. Дородницына Российской акад. наук, 2008. - 56 с.
10. Данг Тхи Фук, Дивеев А.И., Софронова Е.А. Решение задач идентификации математических моделей объектов и процессов методом символьной регрессии. / Cloud of Science. - 2018. - Т. 5, № 1. - с. 147 – 162.
11. Flach P. Machine Learning. The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. - Cambridge: Cambridge University Press, 2015. - 400 p.
12. Eykhoff P. Systems identification: parametrs and state estimation. - Eindhoven, Netherlands: University of technology, 1975. - 680 p.
13. Шапиро С.В. Основы синергетики. - Уфа : УГАЭС, 2012. - 200 с.
14. Зорич В.А. Математический анализ. Ч. 1. - М.: Издательство МЦНМО, 2012. - 720 с.
15. Матренин П.В., Гриф М.Г., Секаев В.Г. Методы стохастической оптимизации. - Новосибирск: Издательство НГТУ, 2016. - 67 с.

ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ОСНОВАННЫЙ НА БАЗЕ ДАННЫХ ПОДСИСТЕМ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

Старостин И.Е.

Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА)
+7 (977) 613-42-35, starostinigo@yandex.ru

Статья посвящена разработке интерфейса программной реализации метода математического прототипирования энергетических процессов, позволяющего на основе использования базы данных подсистем различных систем упрощенно задавать структуру любой пользовательской системы. Задание структуры системы представляет собой задание ее подсистем, а также внешних условий функционирования системы. Затем на основе упомянутой базы данных формируется список процессов в системе, задаются функции состояния для свойств веществ и процессов в ней и далее моделируется динамика пользовательской системы методом математического прототипирования энергетических процессов.

Ключевые слова: метод математического прототипирования энергетических процессов, программная реализация, программный интерфейс, базы данных.

Interface of software implementation of the method of mathematical prototyping of energy processes, based on the data base of subsystems of various systems. Starostin I.E. Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTU GA).

The article is devoted to the development of an interface for the software implementation of the method of mathematical prototyping of energy processes, which allows, based on the use of a database of subsystems of various systems, to simplify the structure of any user system. Setting the structure of a system is a task of its subsystems, as well as the external conditions for the functioning of the system. Then, based on the mentioned database, a list of processes in the system is formed, state functions are specified for the properties of substances and processes in it, and then the dynamics of the user system are modeled using the method of mathematical prototyping of energy processes.

Keywords: method of mathematical prototyping of energy processes, software implementation, software interface, databases.

Введение

Для решения практических задач проектирования и эксплуатации систем необходима математическая модель (ММ) рассматриваемых систем [1 – 3], представляющая собой связь параметров системы, имеющих практический смысл (контролируемых параметров), с измеряемыми ее параметрами [1 – 3]. Для корректного построения ММ рассматриваемой системы необходим анализ физических и химических процессов в ней, на базе которого строится искомая ММ [1 – 4]. В общем случае для моделирования физических и химических процессов автором был в рамках механики, электродинамики и современной неравновесной термодинамики предложен метод математического прототипирования энергетических процессов (ММПЭП) [5 – 7]. ММПЭП дает корректные модели динамики рассматриваемой системы, т.е. не противоречащие общим физическим законам (законам сохранения, началам термодинамики, и т.д.), а также физическим особенностям конкретной системы [5 – 7].

Построение преобразованной ММ системы строится путем задания аналитического выражения общего решения системы дифференциальных уравнений ММПЭП, а также аналитических выражений (в частности интерполяционных) для параметров системы [7, 8]. Также преобразованная модель системы может быть задана в виде кусочно упрощенных дифференциальных уравнений ММПЭП, дополненных аналитическими выражениями (в том числе и интерполяционными) для параметров системы [7, 8]. Упомянутые аналитические выражения строятся на множестве динамик, полученных из уравнений ММПЭП при различных значениях параметров системы [8 – 10]. Отсюда видна необходимость программной реализации формализма ММПЭП с последующим построением ММ рассматриваемой системы [9, 11]. Для построения ММ рассматриваемой системы в рамках программной реализации ММПЭП необходимо задать структуру рассматриваемой системы и функции состояния свойств веществ и процессов (СВП) в ней [9, 11]. Настоящая работа посвящена проектированию программного интерфейса задания структуры рассматриваемой системы [9, 11].

Метод математического прототипирования энергетических процессов

В рамках ММПЭП состояние системы однозначно (независимо от ее предыстории) задается ее координатами состояния [7, 8]. Причиной и необходимым условием протекания процессов в рассматриваемой системе являются динамические силы (внутренние возмущения), действующие в рассматриваемой системе, определяемые ее потенциалами взаимодействия (ПВЗ) – частными производными свободной энергии системы по ее координатам состояния (рисунок 1) [7, 8]. Свободная энергия системы – составляющая ее внутренней энергии, которая в силу второго начала термодинамики может быть преобразована в работу [7, 8, 11]. Детали динамики определяются внутренними ее свойствами (кинетическими свойствами), шкалой которых является диссипативная матрица (ДМ) (кинетическая матрица) (рисунок 1) [7, 8]. Помимо упомянутых факторов динамика системы определяется также и внешними потоками в нее [7, 8, 11], которые в общем случае меняются во времени и в некоторых случаях в результате обратной связи определяются также и состоянием системы. Динамика состояния системы определяет динамику ее измеряемых и контролируемых параметров (рисунок 1) [7, 8].

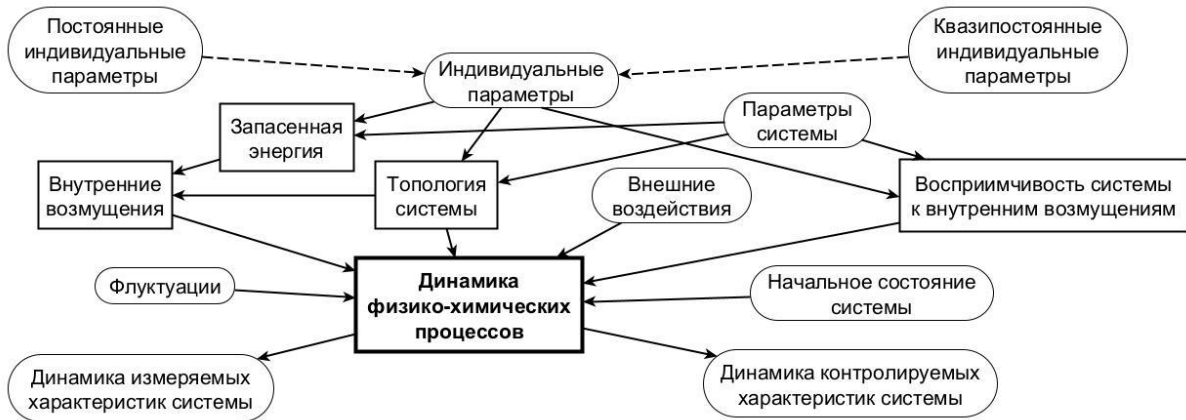


Рисунок 4 – Факторы, определяющие протекание физических и химических процессов в системе

Преобразованная ММ системы строится путем задания аналитического выражения общего решения системы дифференциальных уравнений ММПЭП, а также с использованием локально упрощенных уравнений ММПЭП (рисунок 2) [7, 8]. Аналитическое выражение общего решения дифференциальных уравнений ММПЭП вбирает в себя концепцию убегающего равновесия [7] – такое задание является общим решением некоторой системы дифференциальных уравнений ММПЭП [7].

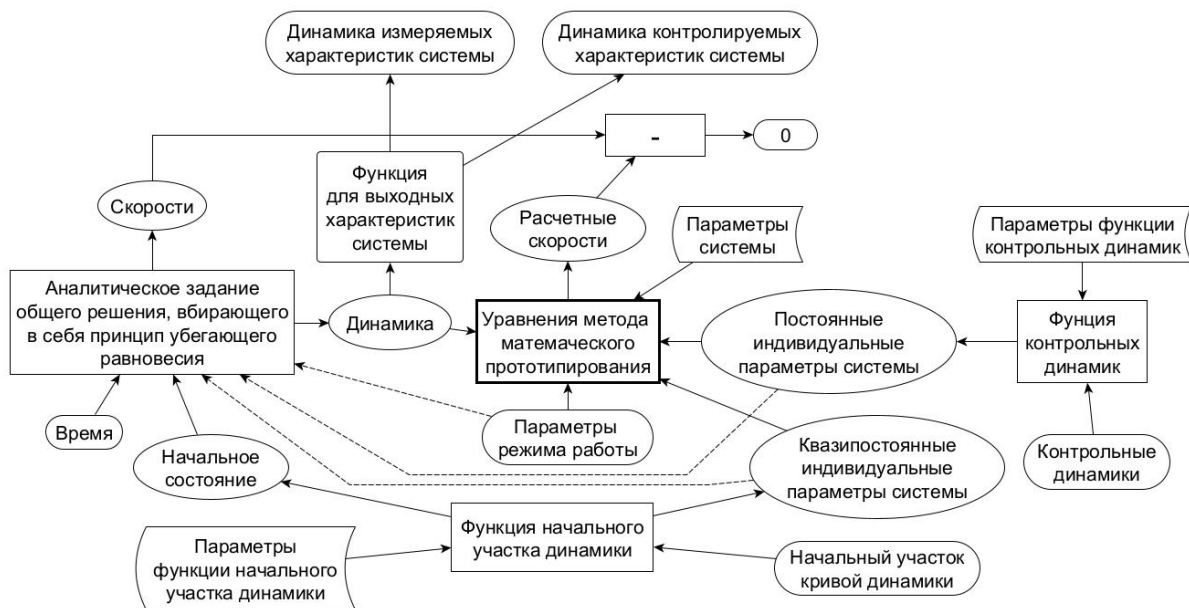


Рисунок 5 – Построение преобразованной модели системы

Для синтеза показанной на рисунке 2 преобразованной ММ системы необходимо из уравнений ММПЭП получить динамики рассматриваемой системы при разных случайно заданных значениях ее параметров с последующим качественным анализом полученных динамик [9]. На основе качественного анализа строится структура преобразованной модели системы (рисунок 2) [9] с последующим выбором базисов (в том числе и интерполяционных [7]) функций для параметров системы [7, 9]. В случае задания преобразованной ММ на основе упрощенных уравнений ММПЭП качественный анализ заключается в расчете чувствительностей параметров уравнений ММПЭП [10]. Приведенный подход гарантирует корректность преобразованных моделей (т.е. не противоречивость преобразованной модели общим физическим законами и физическим особенностям конкретной системы) [7, 8].

Программная реализация формализма построения модели

Как нетрудно видеть из сказанного выше, программная реализация вышеописанной методики построения ММ системы, предназначенной для решения практических задач [1 – 4], базируется на трех модулях [9]:

- модуль расчета динамик пользовательской системы при различных значениях ее параметров, базирующийся на ММПЭП;
- модуль построения преобразованной ММ в заданном классе базисов, базирующийся на программной реализации методов символьной регрессии [12 – 14], а также методов машинного обучения [15];
- модуль генерации кода, реализующего преобразованную модель, базирующийся на методах генерации программного кода на заданном языке программирования [16, 17].

Модуль расчета динамик пользовательской системы при различных значениях ее параметров, структура которого показана на рисунке 3, реализует расчет скорости изменения состояния системы в текущем ее состоянии, а значит, и построение динамики рассматриваемой системы и соответственно динамики ее измеряемых и контролируемых параметров [9]. Запустив расчет вышеописанных динамик при разных значениях параметров системы, мы реализуем вычислительный эксперимент [9]. Выполнив кластеризацию множества динамик, мы выделим некоторые характерные динамики, используя алгоритмы кластеризации [15, 18], [19]. Выделив реперные точки динамик (определяемые классом преобразованных ММ системы (рисунок 2)), мы получим кривые связи между реперными точками динамик и параметрами внешних воздействий [19]. Представив вышеописанным образом характерные динамики и упомянутые кривые зависимости, мы, используя приведенную на рисунке 2 схему преобразованной ММ, получим структуру преобразованной ММ рассматриваемой системы [8, 9, 19]. Именно на базе этой структуры в выбранном базисе строится преобразованная ММ [9].



Рисунок 6 – Модуль расчета динамик пользовательской системы

Программа вычислительного эксперимента представляет собой задание множества параметров системы, для которого рассчитываются динамики ее измеряемых характеристик, а также задание метода корректировки множества упомянутых параметров системы [8, 19]. Корректировка упомянутого множества параметров системы осуществляется с целью приведения соответствия множества рассчитанных динамик измеряемых характеристик системы статистике результатов испытаний различных экземпляров рассматриваемой системы [8, 19]. Упомянутые методы корректировки параметров системы основываются на методах оптимизации [20, 21].

Затем полученная структура ММ передается в модуль построения из экспериментальных данных преобразованной ММ (рисунки 2 и 3), которая в дальнейшем в модуле генерации кода реализуется в виде программного кода, который непосредственно входит в математическое ядро систем автоматизированного проектирования, систем диагностики технического состояния, и т.д. [9].

Интерфейс программной реализации метода математического прототипирования

Структура системы, используемая для моделирования динамики системы, представляет собой задание координат состояния системы и протекающих в ней процессов, связи координат состояния с процессами, а также функций состояния для СВП (как видно из рисунка 1 ПВЗ и ДМ, а также матрицы баланса) и функций внешних потоков [11]. Однако для пользователя такой способ задания состояния системы не является удобным в силу его громоздкости [22]. Задание подсистем системы и процессов внутри упомянутых подсистем, а также взаимодействия между подсистемами рассматриваемой системы (рисунок 4а) является наиболее удобным для пользователя [11]. При этом целесообразно использовать базы данных подсистем рассматриваемых систем, а также базы данных процессов (справочник химических реакций, например) [22]. В частности, в качестве подсистем могут быть сделаны подсистемы фаз как с одной температурой, так и с несколькими температурами внутри одной фазы [11]. В подсистемы фаз входят внутрифазные процессы, состав которых может настраиваться в зависимости от веществ, входящих в фазы. Также в составе взаимодействий между подсистемами задаются процессы между подсистемами [11]. Упомянутые подсистемы и взаимодействия между ними входят в базу данных. Это существенно упрощает задание пользовательской системы [22].

а)



б)



Рисунок 7 – Пользовательский интерфейс

Также в базах данных целесообразно хранить совокупности подсистем и совокупности взаимодействий между ними, что также упрощает задание структуры системы [22].

Для каждой подсистемы задаются ее координаты состояния, процессы, в ней протекающие, и соответствующие функции состояния (рисунок 4а). Аналогичное касается и взаимодействия между подсистемами (рисунок 4а). Для каждой функции состояния задается ее имя, имя ее аргументов, а также имена возвращаемых функцией значений (рисунок 4б). Такая организация пользовательского интерфейса дает возможность синтезировать полный список координат состояния, список процессов, протекающих в

системе, а также связи между ними, на основе которого методом ММПЭП рассчитывается динамика системы, в том числе и динамика ее характеристик. Также нетрудно видеть, что граница между подсистемами системы и взаимодействий между ее подсистемами весьма условная и определяется физической сущностью различных классов различных систем. Координатой состояния совокупности подсистем может быть, например, заряд двойного слоя электрода, состоящего из электрода и граничащего с ним электролита.

Отдельно может быть задана, например, электрохимическая система, состоящая из положительного и отрицательного двойных слоев, а также пространства между ними с заданными в качестве координат состояния заряды двойных слоев и мембраны, а в качестве процессов – токи двойных слоев, токи через мембрану. Температура может быть как одна на всю такую подсистему, так и отдельные температуры электродов, областей электролита, клемм электродов. В последнем случае также задаются процессы теплообмена между указанными температурами. При необходимости рассматриваемая электрохимическая система дополняется другими подсистемами, содержащими прочие координаты состояния электрохимической системы и прочие процессы в ней. Такие расширенные электрохимические системы целесообразно задавать в виде упомянутой совокупности подсистем.

Рассмотрим вопрос касательно задания функций состояния для СВП в системе. Функции состояния для ПВЗ (рисунок 1) удовлетворяют условию полного дифференциала свободной энергии [5, 6], а потому могут быть построены путем интегрирования (и дифференцирования) независимых составляющих ПВЗ [11]. Отсюда связанные упомянутым условием полного дифференциала ПВЗ определяются в рамках одной функции (рисунок 4а). Это дает возможность, один раз определив независимые составляющие упомянутых функций состояния ПВЗ, определить все связанные между собой условия полного дифференциала ПВЗ. Действительно структуру системы (показанную на рисунке 4а) следует задавать таким образом, что связанные между собой условиями полного дифференциала свободной энергии ПВЗ принадлежат одной подсистеме.

В случае задания термодинамической формы записи уравнений ММПЭП [6] условию полного дифференциала энтропии и внутренней энергии должны удовлетворять одновременно сразу ПВЗ, тепловые эффекты и теплоемкости [6]. Поэтому в соответствии со сказанным выше ПВЗ, тепловые эффекты и теплоемкости (также связанные условиями полного дифференциала энтропии и внутренней энергии) определяются в рамках одной функции (рисунок 4а). Упомянутый подход дает возможность задания функций состояния для упомянутых величин, связанных между собой условиями полного дифференциала, в виде базы данных, из которой можно в соответствии с характером поведения теплоемкости и независимых составляющих ПВЗ и тепловых эффектов соответствующие функции.

ДМ (рисунок 1) должна удовлетворять условию положительной определенности (или невырожденности и неотрицательной определенности в случае наличия в системе инерционностей, например, механических частей, катушек индуктивности в электрических цепях) [5]. Положительная определенность ДМ (неотрицательная определенность) гарантируется либо путем определения ДМ через положительные (неотрицательные) необратимые составляющие и обратимые составляющие [11], либо путем функционального разложения по положительно (неотрицательно) определенным матрицам с положительными (неотрицательными) коэффициентами разложения (зависящими в общем случае от состояния системы) [5]. Необходимым условием положительной (неотрицательной) определенности ДМ является положительность (неотрицательность) ее главных коэффициентов. Перекрестные коэффициенты, характеризующие перекрестные эффекты (например, термодиффузию, термоэлектричество, сопряженные химические реакции и т.д.), могут быть как нулевыми, так положительными или отрицательными [11]. Отсюда, если, например, процесс не сопряжен с другими процессами, то единственный ненулевой коэффициент главной диагонали ДМ, на который наложено ограничение положительности (неотрицательности), может быть задан отдельной функцией. Аналогично отдельными функциями могут быть заданы положительно (неотрицательно) определенные блоки ДМ для совокупности сопряженных друг с другом процессов, не сопряженных с другими процессами. Такой подход позволяет в случае сопряженных друг с другом процессов, не сопряженных с прочими процессами, определив один раз обратимые и необратимые составляющие ДМ и коэффициенты неотрицательно определенных матриц разложения, определять главные и перекрестные коэффициенты ДМ для рассматриваемой совокупности процессов. Такой подход дает возможность задания базы данных классов функций состояния главных диагональных блоков ДМ, что в свою очередь дает возможность, задав характер изменения коэффициентов ДМ (с изменением состояния системы), из базы данных получить требуемую функцию состояния для главного диагонального блока ДМ. Такой подход также упрощает задание системы [22].

Аналогично создается база данных функций внешних потоков (рисунок 1), из которой в соответствии с атрибутами взаимодействия рассматриваемой системы с окружением получается функция внешних потоков и добавляется в структуру заданной пользовательской системы. Также связанные

вышеописанным образом функции внешних потоков определяем в теле одной функции, а не связанных – в теле разных функций.

Приведенная технология определения СВП в зависимости от состояния системы способствует исключению многократного определения одних и тех же величин, входящих в функции состояния для разных СВП. Для полного исключения многократного определения одних и тех же величин, входящих в разные функции состояния для СВП целесообразно использовать функцию для упомянутых составляющих, которая вызывается перед вызовом основных функций для СВП. Приведенный подход представляет собой графовые вычисления, реализованные, например, в библиотеке tensorflow python. Графовые вычисления позволяют хранить в базе данных блоки функций состояния, из которых в соответствии с требованиями синтезируется функция состояния. Аналогично в базе данных могут быть заданы совокупности приведенных описаний функций состояния для СВП различных классов систем, что также упрощает задание пользовательской системы.

Описанная технология задания функций состояния для СВП, как нетрудно видеть, основывается на аналогичности процессов различной физической и химической природы [4], что делает базу данных упомянутых функций относительно компактной и относительно универсальной.

Задав структуру системы, далее в соответствии со сказанным выше выполняется ее численное интегрирование либо шаговыми методами (закрывающимися в рекуррентном расчете из уравнений ММПЭП состояния системы на временной сетке), либо специальными методами (закрывающимися в задании аналитического выражения динамики системы с последующим расчетом из уравнений ММПЭП коэффициентов аналитического выражения) [23]. В силу сказанного выше аналитическое выражение динамики системы также может быть взято из пользовательского класса преобразованной модели системы (см. рисунок 3), а также может задаваться стандартными элементарными функциями (степенные полиномы, синус, косинус, логарифм, экспонента). Это помимо ускорения интегрирования системы уравнений ММПЭП позволяет сразу получать составляющую преобразованной модели, показанную на рисунке 2. Упомянутые опции интегрирования также задаются пользователем (см. рисунок 3).

Для ускорения поиска аналитического выражения динамики системы (также входящего в преобразованную модель, показанную на рисунке 2) целесообразно при части параметров систем получить ее динамику шаговыми методами с последующей их аппроксимацией аналитическим выражением из заданного пользователем класса, а затем первые приближения коэффициентов аналитического выражения динамики системы при прочих ее параметрах задавать методами интерполяции. Это также гарантирует корректность аналитических выражений динамики системы [7]. Выбор точек, в которых выполняется интегрирование системы шаговыми методами, а также опций алгоритма интерполяции и доводки коэффициентов также задается пользователем (см. рисунок 3).

Приведенный подход позволяет исключить погрешности шаговых методов, дающих некорректное численное решение системы уравнений ММПЭП [23].

Заключение

Предложенный пользовательский формализм задания структуры системы благодаря использованию базы данных элементов различных задаваемых систем позволяет формировать структуру системы из приведенных в ее описании компонент. При этом исключаются требования глубокого понимания физики процессов в рассматриваемой системе, т.к. соответствующие сведения уже заложены в базе данных. Глубокое понимание физики процессов в системе необходимо для формирования упомянутой базы данных. Это дает возможность использования предлагаемой информационной системы специалистами различного профиля и различной квалификации. Это в свою очередь существенно снижает вероятность допущения пользовательских ошибок в процессе задания системы.

Использование в комплексе шаговых и специальных методов интегрирования уравнений ММПЭП с учетом пользовательских настроек позволяет гарантировать получение корректного решения в приемлемые для пользователя сроки.

Литература

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. - М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2002. - 333 с.
2. Колодежный Л.П., Чернодаров А.В. Надежность и техническая диагностика. - М.: ВУНЦ ВВС ВВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 2010. - 452 с.
3. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. - М.: Высшая Школа, 1982. - 233 с.
4. Антонов А.В. Системный анализ. М.: Высшая школа, 2004. 454 с.
5. Khaluytin S.P., Starostin I.E., Agafonkina I.V. Generalized method of mathematical prototyping of energy processes for digital twins development. / Energies. - 2023. - V. 16, No. 4. - pp. 1933 - 1957.

6. Старостин И.Е., Халютин С.П., Париевский В.В. Виды и формы представления основных уравнений метода математического прототипирования энергетических процессов. / Электропитание. - 2022. - № 4. - с. 4 - 14.
7. Старостин И.Е. Построение на основе интерполяции моделей различных физических и химических систем методом математического прототипирования энергетических процессов. // Надежность и качество сложных систем. - 2024. - № 1(45). - с. 49 – 59.
8. Старостин И.Е., Дружинин А.А., Гавриленков С.И. Использование машинного обучения с учителем для построения математических моделей систем методом математического прототипирования энергетических процессов. // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» (г. Пенза). - 2023. - с. 66 – 72.
9. Старостин И.Е. Проектирование информационной системы синтеза методом математического прототипирования энергетических процессов моделей систем для решения практических задач. / Труды международного симпозиума «Надежность и качество» (г. Пенза). - 2024. - Т 1. - с. 62-70.
10. Ланцов В.Н. Методы понижения порядка моделей сложных систем. - Владимир: Изд-во ВлГУ, 2017. - 84 с..
11. Старостин И.Е., Степанкин А.Г. Программная реализация методов современной неравновесной термодинамики. И система симуляции физико-химических процессов SimulationNonEqProcSS v.0.1.0. - Бо Бассен, Маврикий: Lambert academic publishing, 2019. - 127 с.
12. Стрижов В.В. Методы индуктивного порождения регрессионных моделей. - М.: Вычислительный центр им. А. А. Дородницына Российской акад. наук, 2008. - 56 с.
13. Данг Тхи Фук, Дивеев А.И., Софронова Е.А. Решение задач идентификации математических моделей объектов и процессов методом символьной регрессии. / Cloud of Science. - 2018. - Т. 5, № 1. - с. 147 – 162.
14. Дивеев А.И., Ломакова Е.М. Метод бинарного генетического программирования для поиска математического выражения. / Вестник Российского университета дружбы народов; серия: инженерные исследования. – 2017. - Т. 18, № 1. - с. 125 – 134.
15. Flach P. Machine Learning. The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. - Cambridge: Cambridge University Press, 2015. - 400 p.
16. Минакова О.В. Построение генератора программного кода для решения инженерных задач. / Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2020. - № 3. - с. 14-19.
17. Кувшинов Н.Е. Автоматизированная генерация программного кода. / Теория и практика современной науки. - 2017. - № 4(22). - с. 464-468.
18. Мандель И.Д. Кластерный анализ. - М.: Финансы и статистика, 1988. - 176 с.
19. Старостин И.Е. Программная реализация на базе СКМ Scilab методологии построения математической модели системы из уравнений физико-химических процессов в ней. / Труды международного симпозиума «Надежность и качество». - 2020. – Т. 1. - с. 41-44.
20. Eukhoff P. Systems identification: parameters and state estimation. - Eindhoven, Netherlands: University of technology, 1975. - 680 p.
21. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. - СПб: Изд-во Санкт-петербургского государственного политехнического университета, 2012. - 318 с.
22. Старостин И.Е., Халютин С.П. Организация базы данных физико-химических процессов в системах различной природы с использованием графов. / Труды международной научно-практической конференции «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии» ИНФО 2012. - 2012. - с. 124 - 129.
23. Калиткин С.П. Численные методы. - СПб : БХВ-Петербург, 2011. - 592 с.

МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СРЕДАХ

А.Д. Сотников, Г.Р. Катасонова, Ю.С. Соломко, Е.В. Стригина
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Рассматривается формальная модель, описывающая прикладную информационную систему как совокупность информационных процессов на основе доменной модели инфокоммуникаций.

Ключевые слова: Цифровой университет, цифровая кафедра, доменная модель, инфокоммуникации, прикладная информационная система

Process models in educational information environments. A.D. Sotnikov, G.R. Katasonova, Yu.S. Solomko, E.V. Strigina, Saint Petersburg State University of Telecommunications named after prof. M.A. Bonch-Bruевич

A formal model describing an applied information system as a set of information processes based on the domain model of infocommunications is considered.

Keywords: Digital University, digital department, domain model, infocommunications, applied information system

Современная информационное окружение, в котором существует человек предлагает множественные среды различной организации и назначения, которые решают разнообразные прикладные задачи, но базируются на общих фундаментальных принципах информационного взаимодействия участников с организаторами или между собой. Такими средами являются разнообразные торговые площадки, социальные сети, игровые платформы, множественные информационные ресурсы и метавселенные. Этот список постоянно расширяется.

Технологической платформой является прикладной и нижележащие уровни «сети Интернет» со всем разнообразием протоколов и сервисов. Индустрия разработки программного обеспечения обладает широчайшим многообразием методов, технологий и инструментальных средств для проектирования и создания информационных систем впечатляющей сложности, например, «цифровых двойников» [1] или прикладных систем на основе нейронных сетей и искусственного интеллекта.

В то же время, задача формального описания сложных, многокомпонентных информационных систем, функционирующих на базе гетерогенных сетей связи остается не только нерешенной, но, пожалуй, не поставленной в корректной формулировке. Собственно, разработка таких систем строится скорее как творческий процесс поиска эффективных решений в плане производительности, защищенности и других важных, но частных характеристик. В результате создаются решения, про которые можно сказать «As Is» или «Best effort». Так же не приходится рассчитывать на строго оптимальные решения по заданному критерию в виду отсутствия формальной модели, описывающей объект проектирования.

Подобные проблемы возникают при комплексировании систем в «сложные системы» где на первый план выходит задача анализа существующих информационных систем.

Методологическим решением названной проблемы может служить доменная модель инфокоммуникаций (ДМИ) [2], рассматривающая в качестве базового элемента акт элементарного информационного взаимодействия, на основе которого описываются информационные процессы в системе и которые в дальнейшем служат основным объектом анализа и инструментом проектирования.

В аналитической форме доменная модель [2, 6] описывается выражением:

$$\langle A_1 \rangle^{\xi A_1} \xrightarrow{Q_{12}^{\xi A_1 \xi C_1}} \langle \langle A_1 \rangle^{\xi A_1} \rangle^{\xi C_1} \xrightarrow{Q_{23}^{\xi C_1 \xi B_1}} \langle \langle C_1 \rangle^{\xi C_1} \rangle^{\xi B_1} \quad (1)$$

или

$$\langle \langle \langle A_1 \rangle^{\xi A_1} \rangle^{\xi C_1} \rangle^{\xi B_1} \quad (2)$$

где: A_1, C_1, B_1 – объекты физического, информационного и когнитивного доменов соответственно,

ξ – тезаурусы соответствующих объектов,

Q – операторы преобразования тезаурусов объектов при информационном взаимодействии.

Упрощенная графическая иллюстрация доменной модели представлена на рисунке 1.

Вторым ключевым элементом модели является выделение трех доменов – когнитивного, информационного, и физического, в которых группируются соответствующие доменам объекты и задачи [3].

Иллюстрацией сказанного является одно из направлений в современном образовании, которое связывают с понятием «цифровой университет» и «цифровая кафедра», а в более широком смысле – прикладные инфокоммуникационные системы образовательного назначения, построенные на основе совместного использования информационных ресурсов образовательных организаций, предлагающие услуги на базе доступной сетевой среды и соответствующих «платформ». Сокращенно можно говорить об образовательной информационной среде.

Охватывая все три домена, цифровой университет/кафедра фокусирует свою активность в информационном домене (ИД), где существуют соответствующие информационные объекты и процессы. Примерами таких объектов могут быть разнообразные электронные документы - рабочая программа дисциплины (РПД), учебный план (УП), ведомости, или мультимодальные ресурсы – учебные материалы курсов, записи лекций, методические разработки. Дополняют их программные компоненты, обеспечивающие организационную деятельность – расписания, протоколы, разнообразные базы данных участников образовательного процесса. Целенаправленные совокупности действий над

информационными объектами формируют информационные процессы, которые формальным образом описывают общую деятельность системы и предоставляют возможность её оптимизации.

При более детальном анализе становится возможным выделить определенные группы информационных объектов, различающиеся по степени общности, это «атом», «кластер», «иерархия». Под «атомом» будем понимать элементарную автономную сущность информационного домена, например, электронный документ. «Кластер» - совокупность элементарных информационных объектов (атомов), связанных между собой на основе произвольного признака, например, совокупность разнородных электронных документов, относящихся к одному учебному курсу (электронные конспект лекций, рабочая программа дисциплины и расписание занятий группы по данной дисциплине). «Иерархия» - совокупность информационных атомов и/или кластеров, связанных на основе наследования некоторых, произвольно выбранных свойств, важных для исследования.

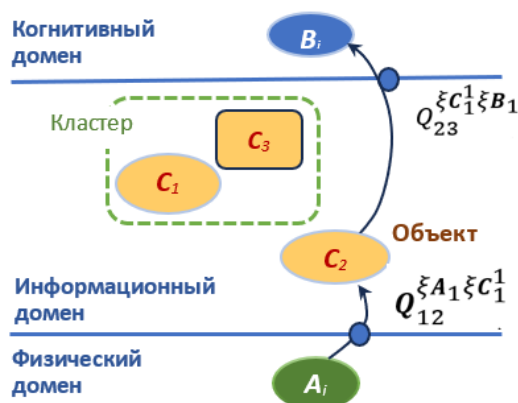


Рисунок 1 - Упрощенная иллюстрация доменной модели

При подобном описании необходимо фиксировать источники и получатели сообщений/данных, участвующие в процессах генерации и утилизации информации, которые в подавляющем большинстве случаев находятся за пределами информационного домена и располагаются в когнитивном или физическом доменах. Это важно, потому что именно эти точки являются терминаторами информационных потоков, которые в свою очередь выступают ключевым инструментом анализа.

В результате использования доменной модели для описания компонентов прикладной образовательной среды (цифрового университета/кафедры) может быть построен граф, представляющий все информационные потоки или, по крайней мере, те, которые интересуют исследователя. Решения задач целочисленной оптимизации на графах хорошо разработаны [4] и могут быть эффективно использованы в данном случае, особенно в матричной форме [5] при выборе соответствующих критериев оптимизации. В качестве критериев могут быть выбраны, например, критерий соответствия скорости передачи данных в определенных информационных потоках системы и пропускной способности каналов связи [6]. Так, например, возможно нахождение максимального соответствия набора требуемых и предоставляемых поставщиком комплекса телекоммуникационных услуг с учетом их характеристик при формировании коммуникационной среды для цифрового университета/кафедры. Услуга описывает функциональные возможности системы и обладает рядом количественных характеристик и параметров, позволяющих потребителю различать варианты. Эти параметры различны по типу и диапазонам значений, но могут без ущерба для целей исследования представлены целыми числами.

Пусть весь набор характеристик описывается как вектор

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_m),$$

где: m – число характеристик,

x_i – значение характеристики с номером « i », $i=1, 2, \dots, m$.

В силу технологических, эксплуатационных и иных ограничений инфокоммуникационная система может обеспечить только дискретный набор значений. Этот набор услуг (множество многомерных векторов) назовем «предлагаемым» и обозначим

$$\{X^{(s)}, s = 1, 2, \dots, M\}$$

Потребителя интересует запрос и получение «требуемых» услуг, которые описываются как множество векторов

$$\{Y^{(t)}, t = 1, 2, \dots, N\}$$

В качестве характеристики отклонения *требуемой* услуги от *предоставляемой* введем величину

$$\varphi_{ts} = \left(\sum_{i=1}^m \rho_i (y_i^{(t)})^2 \right)^{1/2}$$

где $Y^t = (y_1^{(t)}, y_2^{(t)}, \dots, y_m^{(t)})$ - требуемая услуга,

$X^s = (x_1^{(s)}, x_2^{(s)}, \dots, x_m^{(s)})$ - предоставляемая услуга,

ρ - вес, характеризующий «важность» i -ой характеристики услуги для потребителя ($i=1, 2, \dots, m$).

На различных этапах анализа и проектирования представляют интерес различные формулировки задачи оптимизации прикладной инфокоммуникационной системы, среди которых самой востребованной представляется оптимизация «наиболее приемлемая услуга», когда ищется

$$\min_{t,s} \varphi_{ts}$$

который достигается при $t=t_0, s=s_0$ (таких значений может быть несколько).

Тем самым, получена пара $(Y^{t_0}; X^{s_0})$, причем услуга $X^{(s_0)}$ наиболее приемлема для требования $Y^{(t_0)}$.

Во многих случаях характеристики требуемой услуги не могут выходить за некоторые пределы. Тогда выполняется оптимизация с ограничениями:

$$a_i \leq y_i \leq b_i$$

где a_i, b_i - предельные значения характеристики $y_i, i = 1, 2, \dots, m$

Также представляет очевидный практический интерес оптимизация с «минимумом стоимости» и с «максимумом производительности/эффективности».

Таким образом, предложенная модель, позволяющая формализовать описание информационных процессов в прикладных инфокоммуникационных системах, может быть эффективно использована при анализе и проектировании образовательных информационных сред и систем цифрового университета/кафедры.

Литература

1. Akishin V., Kislyakov S., Sotnikov A. Customer experience model for communication service provider digital twin. Изд. Springer Nature Switzerland AG, Материалы конференции Communications in Computer and Information Science. 2022. Т. 1552.
2. Сотников А.Д. Структурно-функциональная организация услуг телемедицины в прикладных инфокоммуникационных системах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / СПб ГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича. Санкт-Петербург, 2008
3. Сотников А.Д., Катасонова Г.Р., Стригина Е.В. Анализ современной системы образования на основе доменной модели инфокоммуникаций. Фундаментальные исследования. 2015. № 2-26. С. 5930-5934.
4. Э. Майника. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. – М.: Мир, 1981.
5. Ю.С. Соломко Использование методологии описания информационных процессов в магистерской подготовке. Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1.
6. А.Д. Сотников. Инфокоммуникации информационное взаимодействие и модели телемедицинских систем. – С-Пб.: СУДОСТРОЕНИЕ, 2008

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗВЕДКИ В ИНТЕРЕСАХ ГУМАНИТАРНОГО РАЗМИНИРОВАНИЯ

Горшков П.С.

ООО «НПО НаукаСофт»

+7 (495) 255-36-35, contacts@naukasoft.ru

Актуальность проблемы гуманитарного разминирования на текущий момент чрезвычайно высока. В работе приведены основные этапы и существующие методы минной разведки. Рассмотрены используемые и перспективные технические средства для ее выполнения, основанные на разных физических принципах. Предложено новое техническое средство на базе радиолокационной станции с синтезированной апертурой бокового обзора Р-диапазона. Показан опытный образец и результаты его испытаний. Представлено решение задачи информационного обеспечения гуманитарного разминирования.

Ключевые слова: Гуманитарное разминирование, минная разведка, радиолокационная станция с синтезированной апертурой бокового обзора Р-диапазона, информационное обеспечение гуманитарного разминирования.

New Technical Reconnaissance Tools for Humanitarian Demining. Vasiliev O.V., Gorshkov P.S., Scientific and Production Association NaukaSoft, LLC

The urgency of the problem of humanitarian demining is extremely high at the moment. The paper presents the main stages and existing methods of mine exploration. The used and promising technical means for its implementation, based on different physical principles, are considered. A new technical tool based on a radar station with a synthesized side-view aperture of the P-band has been proposed. The prototype and the results of its tests are shown. A solution to the problem of information support for humanitarian demining is presented.

Keywords: Humanitarian demining, mine reconnaissance, radar station with a synthesized side-view aperture of the P-band, information support for humanitarian demining.

Согласно отчету Landmine Monitor за 2023 год около 60 стран до сих пор загрязнены противопехотными минами, самодельными взрывными устройствами, неразорвавшимися артиллерийскими снарядами, бомбами. Все они называются взрывоопасными предметами (ВОП). Только в 2022 году по данным отчета Landmine Monitor более 4700 человек, большинство из которых были мирными жителями, погибли или получили ранения от ВОП [1].

Гуманитарное разминирование - деятельность, выполняемая вне районов боевых действий во взаимодействии с органами местного самоуправления (территориальной администрацией), которая приводит к устранению опасностей (рисков), связанных с ВОП, включающая проведение сплошного обследования местности и объектов на предмет наличия ВОП, составление карт, поиск и обезвреживание ВОП, подготовку документации после проведения разминирования [2].

Основанием для разминирования местности служат:

- Международный стандарт противоминной деятельности IMAS (International Mine Action Standards), утверждённый Службой ООН по вопросам противоминной деятельности UNMAS (United Nations Mine Action Service);
- Федеральный закон от 21 декабря 1994 года № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера».

Перед разминированием производится несколько этапов минной разведки [3].

1. Нетехническая разведка:
 - изучение районов боевых действий по сопутствующим данным, а также формуляров минных полей;
 - изучение снимков и составление карт предполагаемой установки минных заграждений с учётом рельефа местности, наличия фортификационных сооружений, дорог и коммуникаций;
2. Техническая разведка:
 - осмотр территории и обследование участка с применением миноискателя;
 - уточнение границы миноопасных районов и выявление зоны заграждений;
 - уточнение типа установленных мин;
 - уточнение характера боевых действий по обнаруженным боеприпасам, фрагментам ВОП и воронкам;
 - определение характеристики грунта и уточнение густоты растительности.

Традиционно, основными инструментами саперов, осуществляющих поиск и разминирование ВОП при выполнении операций гуманитарного разминирования, являются миноискатели, собаки, щуп, шнур с кошкой, облегченные защитные костюмы сапера. К сожалению, для открытой местности с характерными для нее атмосферными осадками, эрозией почвы и значительными циркуляциями воздушных масс длительное пребывание ВОП в грунте, как правило, приводит к значительному уменьшению вероятности их обнаружения.

Следует отметить, что универсального безопасного средства поиска ВОП, способного работать автоматически, пока нет. Попытки совершенствования существующих технологий поиска ВОП и разработки принципиально новых направлений разминирования осуществляются во многих странах мира пока не увенчались успехом.

Центры гуманитарного разминирования внедряют новые технологии с высокой осторожностью, поскольку любая ошибка может стать фатальной. Тем не менее, за последние несколько лет применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) при ведении минной разведки существенно расширилось. Многие правительственные и некоммерческие учреждения, занимающиеся гуманитарным разминированием, внедряют применение БЛА в свои стандартные процедуры. Основу составляет выполнение аэрофотоснимков потенциально опасных территорий и построения их ортофотопланов.

На современном этапе ведения дистанционной минной разведки в качестве информационных датчиков, используемых в виде целевой нагрузки БЛА, можно указать: видеокамеры видимого диапазона (ТВ-камеры), инфракрасного диапазона (ИК-камеры), сканирующие лазерные локаторы (ЛЛ), а также магнитометрические датчики (ММ) [1]. Все они отличаются как особенностями применения, так и информационными возможностями по обнаружению и классификации ВОП.

Так, для ТВ-камер характерна высокая скорость и детальность просмотра исследуемой поверхности. Однако имеет место метеорологическая и суточная зависимость качества снимков. Кроме того, для покрытия 1 квадратного километра с приемлемым разрешением понадобится не менее 60 000 снимков.

В качестве одного из наиболее перспективных методов поиска мин многие специалисты рассматривают метод, основанный на анализе различий тепловых полей грунта и локальной зоны в районе установки мины с использованием ИК-камер. Данный метод эффективен, когда имеется значительная разница ИК-излучений от участка грунта, расположенного непосредственно над миной (или от самой мины), и от всего остального массива грунта. Очевидно, что результативность поиска ВОП под землей в значительной степени зависит от чувствительности датчика, квалификации оператора и реальной обстановки. Лабораторные и натурные полевые экспериментальные исследования с использованием ИК-техники показали, что даже незначительные локальные изменения влажности и плотности грунта, не говоря уже об отдельных посторонних объектах и включениях, могут привести к ложным обнаружениям [3]. Проблемы возрастают на влажных тяжелых грунтах с густой растительностью.

Лазерный локалатор полезен для обнаружения лишь нарушений земляного покрова.

Магнитометры – лучшие на данный момент инструменты для обнаружения заглубленных металлических предметов. Однако магнитный сигнал ослабевает по мере удаления ММ от земли, и предполагает применение БЛА на такой высоте, которая требует большого количества пролетов и обязательного маневрирования при облете кустов и деревьев.

Некоторые надежды специалисты связывают с возможностью использования ультразвука для поиска мин в грунте. Внедрению данной технологии в практику поиска мин пока препятствует целый ряд трудностей. Одна из основных обусловлена тем, что характер распространения ультразвукового сигнала в грунте зависит от его состава, плотности и влажности.

Продолжаются попытки использования поверхностных сейсмических волн длиной от 1,0 до 2,5 м для поиска мин в грунте. Данный метод основан на регистрации увеличения фазовой скорости волновой дисперсии (рассеивания) в районе расположения в грунте тех или иных неоднородностей по сравнению с фоновым однородным грунтом. Характерной особенностью метода является необходимость расположения исследуемой зоны между источником сейсмических волн и приемником, что может вызвать известные трудности при работе на минном поле [1].

По мнению авторов, одним из наиболее перспективных направлений для повышения эффективности ведения минной разведки является применения в качестве целевой нагрузки БЛА радиолокационных станций с синтезированной апертурой (РСА) бокового обзора (БО) Р-диапазона (несущая частота ~ 430 МГц, длина волны ~ 70 см). Особенности применения Р-диапазона являются:

- значительно увеличивается контраст металлических объектов на фоне отражения от подстилающей поверхности;
- начинают играть роль резонансные явления;
- обеспечивается большая глубина проникновения в подстилающую поверхность по сравнению с сантиметровым диапазоном;
- возникают трудности дешифрирования радиолокационного изображения (РЛИ) без координатной привязки.

Ранее проведенные исследования [4] показали принципиальную возможность обнаружения радиоконтрастных малоразмерных объектов, замаскированных растительностью. Так на рисунке 1 показано РЛИ изображение местности с железными бочками, расположенными в подлеске. Ярко проявляется опушка старого леса.

В интересах информационного обеспечения гуманитарного разминирования в ООО «НПО «НаукаСофт» создан действующий образец бортового радиолокационного комплекса инженерной разведки (БРЛК ИР) «Археолог-И» в составе: носитель – БЛА среднего класса, РСА БО Р-диапазона «Линза», бортовой вычислитель, навигационная система, наземный пункт дешифрирования. Внешний вид БРЛК ИР «Археолог» представлен на рисунке 2.

Проведенные испытания БРЛК ИР вселили уверенность в возможности решения задачи дистанционного обнаружения мин. На рисунке 3 представлено РЛИ заснеженного участка вспаханного поля, на котором на расстоянии 10 метров друг от друга разместили металлические объекты размером 30х30х5 см.

На РЛИ ярко проявляется пашня, создающая сложный зернистый фон, существенно затрудняющий обнаружение «мин». Однако высокое разрешение РЛИ (предельное для Р-диапазона) 1.5х1.5 м позволяет выявить симметричный пиковый характер отражений от объектов интереса, что в последующем станет основой их идентификации. Существенным преимуществом БРЛК ИР является возможность послеполетного достаточно быстрого (+3 часа) получения РЛИ поверхности размером 600х600 м по результатам минутного полета.

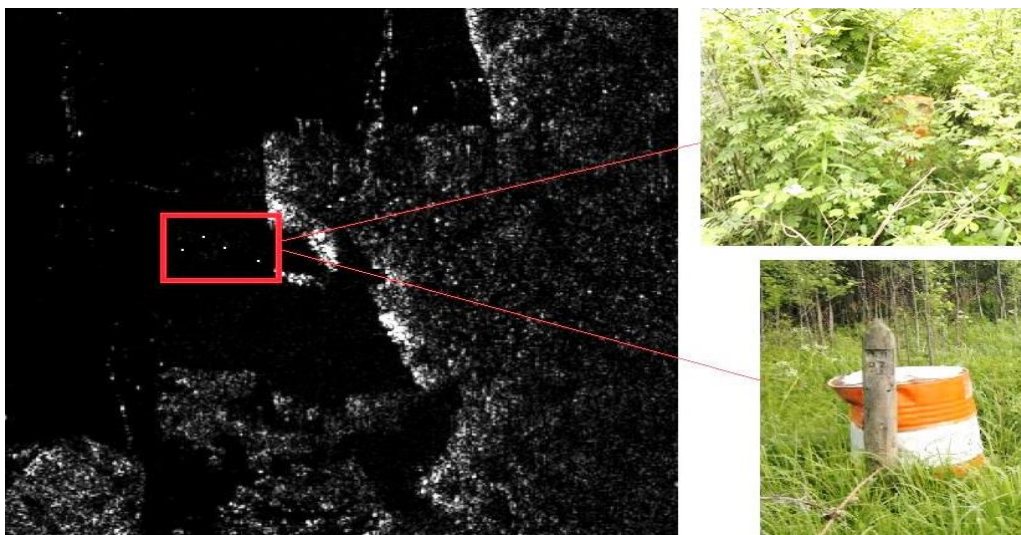


Рисунок 1 – РЛИ изображение местности с железными бочками



Рисунок 2 – Внешний вид БРЛК ИР «Археолог»

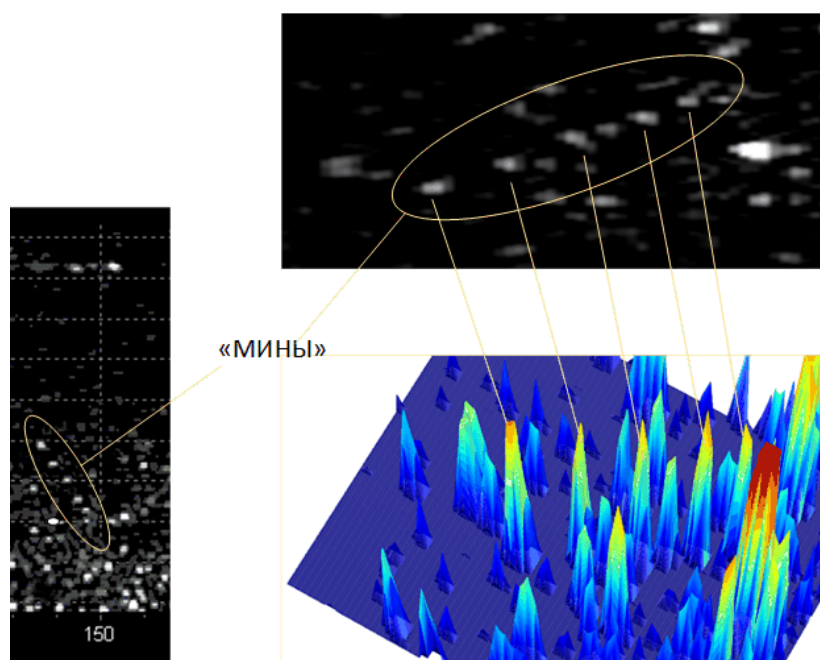


Рисунок 3 – РЛИ заснеженного участка вспаханного поля с имитаторами мин

Таким образом, задача информационного обеспечения гуманитарного разминирования может быть решена путем комплексного применения БЛА с различной целевой нагрузкой в несколько этапов.

На первом этапе с применением ТВ-камер и ЛЛД строится ортофотоплан местности, предназначенной для разминирования. Затем строится его радиолокационное и ИК изображения, совместная обработка которых после наложения на ортофотоплан, позволит построить кадастровый реестр минного поля. Информация может быть уточнена дополнительным пролетом БЛА с ММ в качестве целевой нагрузки. Таким образом, будет обеспечиваться последовательное повышение детальности, полноты и достоверности информации: «мин нет» - «мины локализованы в указанных областях» - «кадастровый реестр минного поля с указанием координат мин».

Необходимость обработки больших объемов сложной информации требует максимальной автоматизации деятельности оператора дешифровщика изображений. И здесь не обойтись без применения технологий искусственного интеллекта, требующих огромных объемов обучающих выборок и серьезных вычислительных ресурсов.

Литература

1. Практическая деятельность (гуманитарное разминирование) // Министерство обороны Российской Федерации (Минобороны России) [mpc.mil.ru]: сайт. – URL: https://mpc.mil.ru/mpc/activities/practical_old.htm (дата обращения: 30.08.2024).
2. Baur, J. Ukraine is Riddled with Land Mines: Drones and AI Can Help / J. Baur // IEEE Spectrum. – 2024. – Vol. 61, No. 5. – P. 42–49. – DOI 10.1109/MSPEC.2024.10522930.
3. Петренко, Е. С. Некоторые технические особенности решения проблемы гуманитарного разминирования / Е. С. Петренко // Системы технической охраны объектов [vrsystems.ru] : сайт. – URL: https://www.vrsystems.ru/stati/nekotorie_tekhnicheskie_osobennosti_resheniya_problemi_gumanitarnogo_razminirovaniya.htm (дата обращения: 30.08.2024).
4. Малогабаритная радиолокационная система Р-диапазона беспилотных летательных аппаратов / О. В. Васильев, А. Н. Детков, О. Н. Зинченко [и др.] // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2016. – Т. 14, № 2. – С. 44–54.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОЙ ПОРЫ В ЛИТОЙ ЗАГОТОВКЕ

Нечаева О.В, Балашова Е.С.*
МАОУ Белостолбовская СОШ, *МПУ
+7(926) 143-85-80, ovn25@rambler.ru

Развитие отечественного машиностроения и других отраслей промышленности в значительной степени определяется темпами развития и совершенствования литейного производства. Большое значение имеет качество и надежность получаемых отливок. В соответствии с этим предъявляются и требования к их качеству и надежности в работе. Для отливок, получаемых из никель-хромовых сплавов, основным показателем качества является уровень их жаропрочности. Увеличение долговечности литых деталей связано с созданием однородной и бездефектной структуры. Это требует высокого качества литья, для изделий с толстостенными сечениями, которое достигается весьма непросто, учитывая множество факторов. Поэтому в данный момент актуально создание искусственной вакуумированной поры.

Ключевые слова: Литые детали, наличие пористости, индукционная сварка, вакуумирование, искусственная пора.

Development of a model of an artificial pore in a cast billet. Nechaeva O.V., Balashova E.S.*, Belostolbovskaya school, *MPSU.

The development of domestic engineering and other industries is largely determined by the pace of development and improvement of foundry production. The quality and reliability of the castings obtained are of great importance in the conditions of the modern world market, since they have to work in extremely diverse conditions. In accordance with this, there are also requirements for their quality and reliability in operation. For castings made from nickel-chromium alloys, the main quality indicator is the level of their heat resistance. The increase in the durability of cast parts is associated with the creation of a homogeneous and defect-free structure. This requires high-quality casting, for products with thick-walled sections, which is very difficult to achieve, given many factors.

Keywords: Cast parts, artificial pore, vacuuming, induction welding, the presence of porosity.

Известно, что в деталях, полученных литьем, образуются различные дефекты. К ним относятся: офисные плены, микропористость и микрорыхлота усадочного происхождения и так далее. Приведенные выше дефекты составляют 15-20% от общего брака при литье. Дефекты в виде плен окислов и микропористости являются следствием несовершенства технологии вакуумной выплавки. Их трудно выявить в изделии. Наличие в металле таких дефектов представляет собой большую опасность, так как залега в теле деталей они являются очагами концентрации напряжений, что может привести и зачастую приводит к разрушению лопаток во время эксплуатации. Таким образом, получение бездефектной литой структуры является важной народно-хозяйственной задачей.

Для достижения поставленной задачи была предложена модель получения искусственной поры в литой детали. Эта методика позволила изучить кинетику поведения поры при залечивании, так как дефекты со сферическим каркасом трудно поддаются ликвидации. Для выполнения работы были привлечены современные установки, используемые в авиастроении для получения порошковых деталей, а именно, газостат, в котором сочетаются высокое давление и температура. Обработка литых отливок в газостате по разработанному в диссертации режиму показали положительные результаты. Анализ механических и физических свойств образцов из материала отливок до и после газостатической обработки обсуждены ниже.

Были экспериментально построены диаграммы деформации, которые дали возможность определить основные характеристики прочности пластичности, такие как предел прочности, предел упругости, предел текучести, истинное сопротивление разрушению и относительное удлинение и сужение. Надо отметить, что в наибольшей степени эффект горячего изостатического прессования достигается на характеристиках пластичности. Для практически хрупкого никель-хромового сплава (плавка 8) нулевые значения относительного удлинения и сужения вырости после обработки в газостате в два раза. Отмечен рост разрушающего напряжения для всех сплавов после ГИП, кроме сплава, содержащего 40% Ni 60% Cr (плавка 8), в котором разрушающее напряжение совпадает с пределом прочности материала.

Исследование физических свойств изучаемых материалов подтвердило неизменность модуля упругости в отливках до и после ГИП, что отвечает нашим представлениям о структурной нечувствительности модуля упругости первого рода.

Фактографический анализ изломов и их микростроение показывали, что с понижением содержания никеля и двойных никель-хромовых сплавах уменьшается степень макропластической деформации.

Разработанный технологический режим был применен на изделиях авиационной техники – рабочие лопатки ГТД. Сравнивая данные по механическим свойствам лопаток ГТД из сплавов ЖС6У и ВЖЛ12У следует отметить более высокие стабильные значения характеристик металла отливок после ГИП, в отличие от традиционной технологии. Исследование термоусталости лопаток из сплава ЖС6У после ГИП показывает увеличение долговечности в 2 раза.

Наиболее перспективной областью применения ГИП является улучшение качества отливок. Отливки обычно имеют внутренние дефекты – раковины и пористость, что неблагоприятно влияет на свойства. Горячее изостатическое прессование залечивает раковины и пористость в процессе ползучести или пластической деформации, восстанавливает нарушение целостности, связывая поверхности этих микродефектов диффузионными металлическими связями, делая тем самым отливку с однородной микроструктурой.

Для исследования уплотнения пористость можно имитировать высверливанием отверстия, из которого откачивается воздух, затем отверстие закрывается пробкой и заваривается электроннолучевой сваркой в вакууме, а потом образец подвергается горячему изостатическому прессованию. Для изучения диффузионных процессов на дно поры помещался изотоп (^{63}Ni)-В – излучения. Навеска составляла 0,3г.

Технология заполнения образца изотопом никеля и последующая его дегазация происходит по следующей схеме:

1. Заполнение искусственной поры в образце изотопом никеля и затем виброуплотнение на воздухе;
2. Термическая дегазация в вакууме образца с закрытой пробкой;
3. Герметизация образца электронно-лучевой сваркой;
4. Проверка образца с дефектом на герметичность.

Для заполнения образца никелем-63 и последующей дегазации использовали оборудование, состоящее из вибро-стенда, для уплотнения никеля-63 в образце и установки электронно-лучевой сварки УДГК-1.

Установка включает следующие основные узлы:

1. Рабочую камеру и вакуумную систему с насосами.
2. Систему нагрева и регистрирующих измерительных приборов.
3. Электронно-лучевую пушку для герметизации исследуемых образцов.

4. Стол для размещения образцов.

Имитированный дефект (искусственная пора) перед сваркой тщательно очищают от пыли и других загрязнений технической салфеткой, смоченной хладоном ПЗ. Затем образец с порой закупоривают пробкой и помещают в установку. Установка герметично закрывается снаружи, а внутренняя пора вакуумируется до создания вакуума примерно равного 13,3 Па. Процесс необходимо проводить не менее 20 минут.

Затем при постоянном давлении в рабочей камере проводится выдержка в течение одного часа на рабочий режим. Для удаления газа из поры неплотно закрытого пробкой образца проводится дегазация по режиму:

1. Постепенный нагрев образца с дефектом до температуры 400°C в течение 2 часов.
2. Выдержка при температуре 400°C – 5 часов, вакууметрическое давление при этом не должно превышать 0,09 Па/мин ($7 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст./мин.)
3. Образец повторно нагревают до температуры 750°C и выдерживают при этой температуре 6 часов.

В этом режиме допустимое вакууметрическое давление составляет 0,1 Па/мин. ($8 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст./мин). По окончании процесса дегазации нагрев прекращают и охлаждают внутреннюю камеру установки до температуры 250-350°C.

Для возможности проведения обработки образца в газостате с целью залечивания поры, необходимо сохранить в поре полученный вакуум. Для этого герметизируют образец с дефектом методом электронно-лучевой сварки. На первом этапе сварки делают прихватку пробки к образцу в двух диаметрально противоположных направлениях (точках), а затем осуществляют сварку по всему диаметру образца. В процессе сварки фокальное пятно электронного луча должно находиться на стыке свариваемых кромок образца и пробки. Сварку проводят по следующему режиму: давление в камере установки УДК-1 составляет $1 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-5}$, ток электронного луча - 0,18-0,22 А, ускоряющее напряжение 20-28 кВ. Качество сварки проверяют визуально через смотровое окно установки. На сварном шве не должно быть видимых дефектов, трещин, напроворов и др. дефектов. После сварки отключается электронно-лучевая пушка и через 210 минут в камеру установки напускается инертный газ гелий до вакууметрического давления 20 кПа, температура в камере повышается до 500°C. Образцы затем охлаждаются до температуры 200°C, откачивается инертный газ из рабочей камеры и производится выгрузка образцов. Проверка образцов на герметичность осуществляется в "водяной ванне".

Высказывают предположение о том, что залечивание дефекта происходит путем прорыва поверхностности дефекта пластичным металлом, и выделяют 4 этапа залечивания: подготовительный, прорыв оболочки дефекта, заполнение оболочки металлом, диффузионная сварка.

На первом этапе в результате надреза устанавливается определенный уровень предела текучести материала и давление в данной точке. Продолжительность данного этапа определяются скоростью измерения температуры и давления в газостате, теплопроводностью материала, размером отливки, местоположением дефекта. Второй этап характеризуется нарушением целостности оболочки дефекта и началом наступления пластического течения металла в его полость. Прорыв наступает в месте дефекта, где отношение величины напряжений к пределу текучести материала наибольшее. Это, во-первых, зона дефекта, обращенная к ближайшей поверхности отливки, а во-вторых, участка пониженной прочности и жесткости. Таким образом, прорыв наступает быстрее на поверхностях, имеющих выступы и впадины, что характерно для дефектов усадочного происхождения. Третий этап (наполнение оболочки) характеризуется продавливанием металла как бы через расширяющуюся фильеру. Четвертый этап – диффузионная сварка, его продолжительность во многом определяется температурой, от уровня которой экспоненциально зависит скорость диффузии.

Перед газостатированием проводили рентгеновскую дефектоскопию исходных образцов с порой, а затем этих же образцов после газостатирования. В результате, как и следовало ожидать, в исследуемых образцах после обработки в газостате по вышеуказанному режиму была ликвидирована внутренняя пористость, как в литых образцах, так и в образцах с имитированной порой, размер которой составил 3 мл.

Методика определения коэффициента диффузии в никель-хромовых сплавах различного состава с искусственной порой до и после залечивания с помощью ГИП:

В связи с тем, что изучение характера и механизма залечивания внутренних дефектов в отливках под воздействием давлений и температур неразрывно связано с протеканием диффузионных процессов, в работе применена методика, позволяющая определить параметры диффузии в сплавах никель-хром после различных технологических операций. Возможность дальнейшего сопоставления полученных коэффициентов позволяет в определенной мере оценить процессы, приводящие к восстановлению металлических связей в порах и их закрытию.

Для определения коэффициента диффузии использовался метод радиоактивных изотопов. Из существующих методов определения констант диффузии элементов в металле был выбран капиллярный метод, основанный на использовании полубесконечного и ограниченного капилляра.

Данный метод впервые был применен Робертом-Аустеном для измерения коэффициента диффузии в жидких металлах в конце XIX века. Сущность метода заключается в том, что в капилляр, выполненный из огнеупорного материала, помещается на дно стержня небольшое количества изотопа никеля, а затем на дно стержня растворяющий металл: никель или сплавы никеля. Процесс диффузии протекает в жидком металле, а распределение диффузана изучается в твердом состоянии по длине капилляра. Применение капиллярного метода с использованием изотопов дает возможность получить как градиент по изотопу в капилляре, так и количество изотопа, поступающего в капилляр или покинувшего его. Это дает возможность изучать самодиффузию в растворенных металлах и сплавах.

Выводы

С целью изучения механизма и кинетики залечивания пор в отливках разработан способ создания искусственно вакуумированной поры, имитирующей литейную пористость в никель-хромовых сплавах, содержащих до 69% хрома.

Для изучения кинетики залечивания пор в отливках из никель-хромовых сплавов промышленного производства предложен метод, базирующийся на применении радиоактивного изотопа Ni^{63} .

Показано, что при давлении 1450 кгс/см^2 и температуре 1200°C и времени газостатирования 1 час, в никель-хромовых сплавах, находящихся в однофазном и двухфазных состояниях, залечиваются крупные поры диаметром до 5мм.

Литература

1. Белов А.Ф., Николенко В.В., Деркач Г.Г. «Высокотемпературная газостатическая обработка - эффективный путь повышения качества и надежности деталей» УИ Всесоюзный съезд по теории и прикладной механике. М., АН СССР, 1986.

2. Николенко В.В., Нечаева О.В., Куликова Н.В. «Исследование влияния газостатирования на структуру и свойства литых деталей», МАИ, 1990.

3. Белов А.Ф., Николенко В.В. «Прогрессивный метод получения качественных отливок», 3-я Всесоюзная научно-техническая конференция «Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий», г. Запорожье, 1986.

4. Белов А.Ф., Николенко В.В. «Уплотнение металлов с помощью повышения температур и давлений» 38-й Конгресс Международной Астронавтической Федерации, Англия, Брайтон, 1988. Тезисы докладов.

5. Николенко В.В. «Повышение качества отливок при воздействии давлений и температур», 1-й Всесоюзный съезд технологов-машиностроителей», г. Москва, 1939.

6. Аношкин Н.Ф. «Развитие технологии производства заготовок из жаропрочных никелевых и титановых сплавов для авиационной промышленности на основе металлургии гранул и ГИМ». ВИЛС, 1982.

7. Price, Pr. Hot isostatic Pressing - a new heat treating, Technology with Tremendous Potencidi Industrial Heating, 1979.

8. Bailey G, Schwalert W.N. Hip disidication of castings// material and Process Technology Laboratories Aircraft Engine G. G. С.Е.

9. Jorre C. Fatigue Resistance Improvement Tialloys // Rerg und Hittenmännnsche Monoshefte.

10. Macking H., Dreshfield R.L., Maier R.D Method for Refining Microstructure Preollyed Powder Metallurgy // Super alloys, 1980.

МУЛЬТИ ДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНТЕГРИРОВАННОГО АВИАЦИОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Исмагилов Ф.Р., Вавилов В.Е., Охотников М.В.
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

В работе рассматривается механика зависимости показателей и характеристик, интегрируемого авиационного электромеханического генератора от факторов, закладываемых при его проектировании. Оцениваются этапы проектирования в совокупности с исходными параметрами. Приведена зависимость удельных показателей от исходной мощности проектируемого генератора и итоговой массы в первом приближении.

Ключевые слова: подходы при проектировании, интегрированные системы, интегрированный генератор

Multi-disciplinary approach to designing an integrated aircraft generator. Ismagilov F.R., Vavilov V.E., Okhotnikov M.V., Ufa University of Science and Technology, Ufa

The paper examines the mechanics of the dependence of the indicators and characteristics of an integrated aircraft electromechanical generator on the factors incorporated during its design. The design stages are assessed in conjunction with the initial parameters. The dependence of specific indicators on the initial power of the designed generator and the final mass in the first approximation is given.

Keywords: design approaches, integrated systems, integrated generator

При рассмотрении вопроса перехода авиационных электромеханических систем от преобразователей устанавливаемых на коробке агрегатов (КА) авиационного двигателя (АД) к интегрируемым высокоэффективным синхронным генераторам (ИСТГ) устанавливаемым непосредственно на вал в полости корпуса АД, с целью повышения уровня электрофикации летательного аппарата и электромеханических приводов входящих в его состав стоит задуматься о систематизированной структуризации этапов проектирования и их направленности с четким указанием цели и на каждом этапе проектирования.

Выбор типа преобразователя, интегрируемого в АД, обуславливается характеристиками применяемых в его конструкции материалов, режимами его работы, а также влиянием динамических характеристик на механические и электромагнитные показатели преобразователя.

В отличие от классических электромеханических преобразователей (ЭМПЭ) разрабатываемых для авиационной техники, в которых требования контролируются согласно внешних воздействующих факторов (ВВФ) по КТ-160G либо ГОСТ РВ 6601-001-2008 и характеризуя стандартные воздействия, ИСТГ подвергается большому количеству воздействий. Опираясь на это можно сделать заключения о том, что общепринятый подход применяемый при расчете классических ЭМПЭ не подходит для проведения расчета полноценных ИСТГ для АД. Зависимость большого числа параметров, включающих механические параметры, электромагнитные параметры, условия эксплуатации, динамику ротора, требования по надежности, а также их взаимное влияние требуют проведения мульти дисциплинарного подхода для разработки ИСТГ.

Критерии и зависимости самого мульти дисциплинарного подхода можно сформулировать на основе ряда определяемых факторов:

- во всех оценочных расчетах и математических моделях чаще всего приводимых в открытой печати не учитывается зависимость динамики ротора, массы и габаритов проектируемого преобразователя от температурных параметров окружающей среды, проектируемой системы масляного и газо-воздушного охлаждения. Для определения данной зависимости требуется проведение отдельного теплового анализа работы всей системы с учетом всех воздействующих параметров.

- габариты и масса элементов, определяемые по итогу электромагнитного расчета ИСТГ характеризующихся концентраторами механических напряженностей, основная доля которых наблюдается в конструкции ротора, напрямую определяя его запас прочности и надежности. Данное определение требует проведения прочностного анализа в зависимости от воздействия внешних факторов.

- после выбора типа ИСТГ который может быть с внутренним либо с внешним роторами требуется оптимизации электромагнитных расчетов активной части под определение индивидуальных параметров.

- потери в магнитопроводе статора, обмотке, роторе и пр. в совокупности с влиянием окружающей температуры будут напрямую определять температуру самой машины и конструктивных элементов, что потребует проведения анализа теплового баланса при работе ИСТГ.

- большая масса ротора в дальнейшем будет оказывать влияние на балансировку и остаточный дисбаланс в особенности при взаимном влиянии параметров АД на работу ИСТГ в полете, что в совокупности с динамическим характером работы АД потребует оценки формируемых вероятных ВВФ.

Таким образом на основе вышеизложенных данных, можно заключить, что реализация мультидисциплинарного подхода, позволяет производить взаимную оценку параметров ИСТГ при проектировании и оптимизации его применения в АД, что потребует обратить внимание и на устоявшееся влияние ВВФ (рис. 1). В то же время потребуются учитывать ряд дополнительных факторов (ДПФ), оказывающих одновременное воздействие на ИСТГ при стартерном и генераторном режимах работы.

На рис. 1 сформирована условная модель взаимодействия факторов, формирующих конечный результат, учитывающий итоговую стоимость при достижении требуемых показателей интегрированного преобразователя.

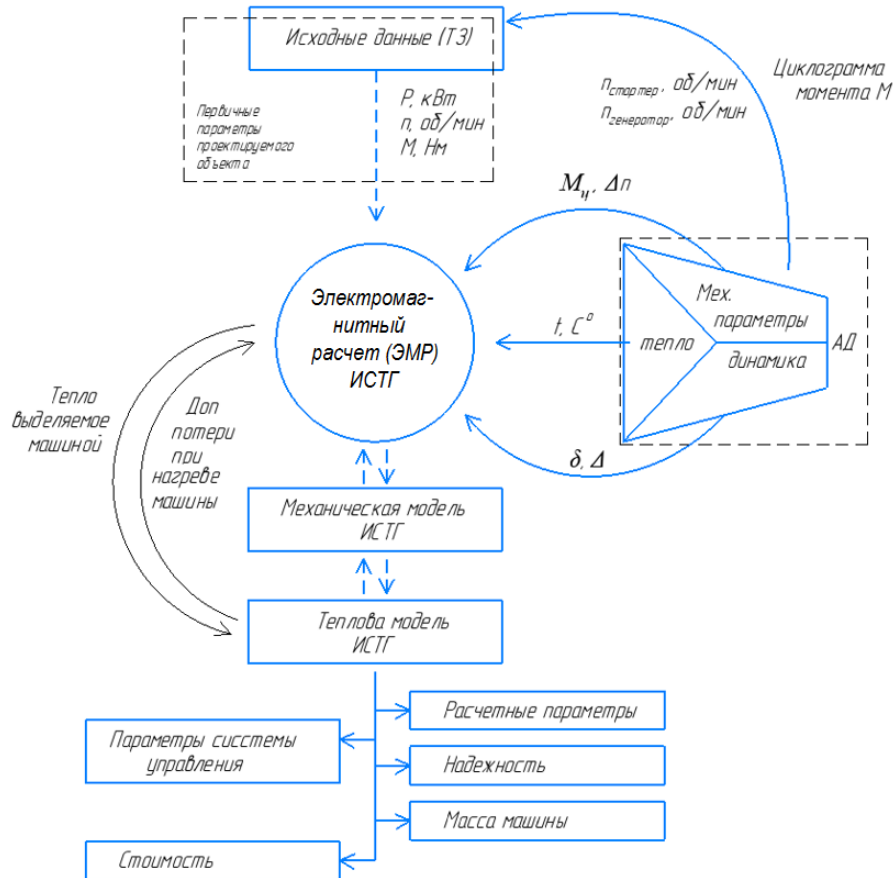


Рисунок 1 – Модель взаимодействующих факторов

Структурная схема модели, поясняет взаимосвязь выполняемых процессов, начиная от источника исходных данных, технического задания до конечного результата.

На первом этапе, принимая во внимание удельные показатели эксплуатируемых сейчас авиационных генераторов (АСГ) имеющих следующие показатели: ГТ-60ПЧ8Б (мощность 60 кВА; удельную мощность: 1,6 кВт/кг; вес: 37 кг), ГТ-120ПЧ6 (имеет удельную мощность: 1,7 кВА/кг; номинальную мощность: 120 кВА; вес: 67 кг.), ГТ-40ПЧ8 (имеет удельную мощность: 1,29 кВт/кг; номинальную мощность: 40 кВт; вес: 31 кг.) [1, 2, 3, 4], можно сделать предположение, что при интеграции ИСТГ должен по характеристикам быть не хуже существующих. Основываясь на этом, ориентир на конечную массу исходя из условных показателей мощности можно принимать согласно характеристике рис. 2.

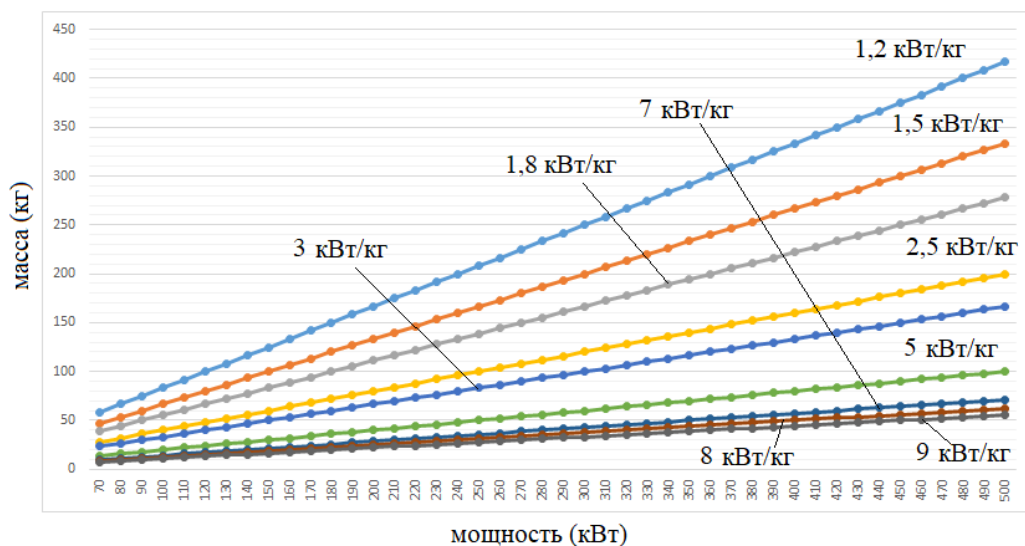


Рисунок 2 – Характеристика соответствия мощности

Если за основу электромагнитного расчета активной части ИСТГ принять расчет активной части классического авиационного генератора, то вопрос теплового баланса при его эксплуатации будет представлять значительный интерес в следствии наличия большого количества взаимно влияющих лавинным образом ВВФ. Основным фактором, отличающим ИСТГ от классического преобразователя, является повышенные значения температуры вокруг ИСТГ, отличающиеся в зависимости от модели двигателя и имеющие значения более 100°C [5]. Для анализа теплового состояния ИСТГ на всех стадиях работы в качестве основных данных необходимо принимать условия теплообмена между конструктивными элементами ИСТГ, внешней средой и вторичными потоками, возможными условиями надува герметичных уплотнительных соединений, смазки подшипниковых узлов в конструктиве АД [5]. При этом характер и анализ данных потоков может варьироваться в зависимости от двигателя и производиться для любого типа ИСТГ [6, 3].

Для определения внешнего облика и конструкции будущего ИСТГ необходимо анализировать существующие проекты для учета их ошибок и возможностей. Одним из таких ИСТГ является конструкция, предложенная компанией RolsRoys [7], выполненная в модульном интегрированном на вал АД исполнении с возможностью крепления внешнего корпуса ИСТГ к корпусу АД. Корпус ИСТГ выполнен по схеме щит-корпус-щит с фланцевым соединением, что говорит о вероятных высоких требованиях к жесткости, герметичности и собираемости конструкции. К ИСТГ подведены коммуникации с фланцевым, герметичным соединением на щитах, что может свидетельствовать о наличии принудительного охлаждения обмоток ИСТГ, при этом их односторонняя установка может говорить о наличии направленного циркулирования охлаждающей жидкости внутри полости охлаждения ИСТГ. Отсутствие видимых электрических разъемов может подтверждать факт малой мощности рассматриваемого образца и допускать, что соединение выполнено по типу ШР малъема, имеющего ограничение по пропускаемому току (при 3-х фазном исполнении до 200 А), что само собой говорит о сниженных требования к блоку управления синхронным генератором БУСГ и рассматриваемому образцу ИСТГ.

Применение модульности в конструкции ИСТГ позволит на первых этапах снизить количество критичных моментов, определяющих работу проектируемого ИСТГ и повысить его надежность. Статор будет объединен с ротором через промежуточные щиты выполняющие дополнительную защиту как самого ИСТГ, так и АД (рис. 3) патент № 2024105387 по РФ [8]. Двухконтурная система охлаждения в виде масла и воздуха позволит осуществлять принудительное охлаждение обмотки статора и ротора независимо от факторов внешней среды.

В упрощенном виде модульная конструкция может быть выполнена без собственных подшипников, однако при этом пропадает возможность реализации функции «слабого звена», позволяющего защитить как ИСТГ, так и АД от возможных механических поломок, заклиниваний, высоко моментных ударов и пр. имеющих возможность возникновения как в ИСТГ, так и в АД. Само «слабое звено» работает по принципам рессорного привода, как это реализовано на генераторах ГС-12 или ГС-24А [9]. При возникновении внештатной ситуации ротор ИСТГ просто отключается от ступицы и медленно останавливается за счет вращения на собственных подшипниках. При этом электрическая система питания самолета переходит на резервные источники питания.

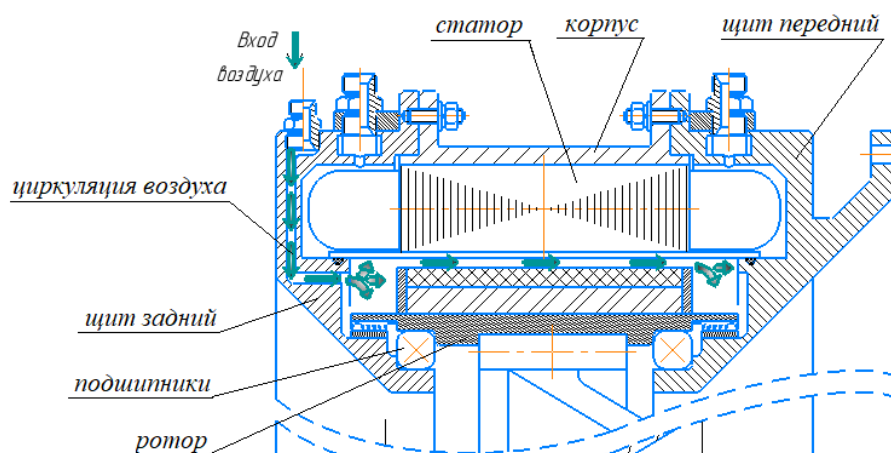


Рисунок 3 – Модульная конструкция с пассивной защитой, патент № 2024105387 по РФ

Установив критерии физического влияния параметров на работу ротора ИСТГ стоит оценить процесс фундаментальных основ для анализа расчета для всех интегрированных систем. Ни один из видов

исследований (экспериментальный или расчётно-теоретический) самостоятельно не способен обеспечить получение надежных электромагнитных и прочностных характеристик в целом конструкции и отдельных элементов ИСТГ. Поэтому экспериментальные и расчетно-теоретические исследования требуется проводить как отдельно, так и в совокупности на всех этапах создания конструкции.

Процесс проведения прочностного исследования и получения заключения о прочности можно представить графически в виде следующей блок-схемы (рис. 4).

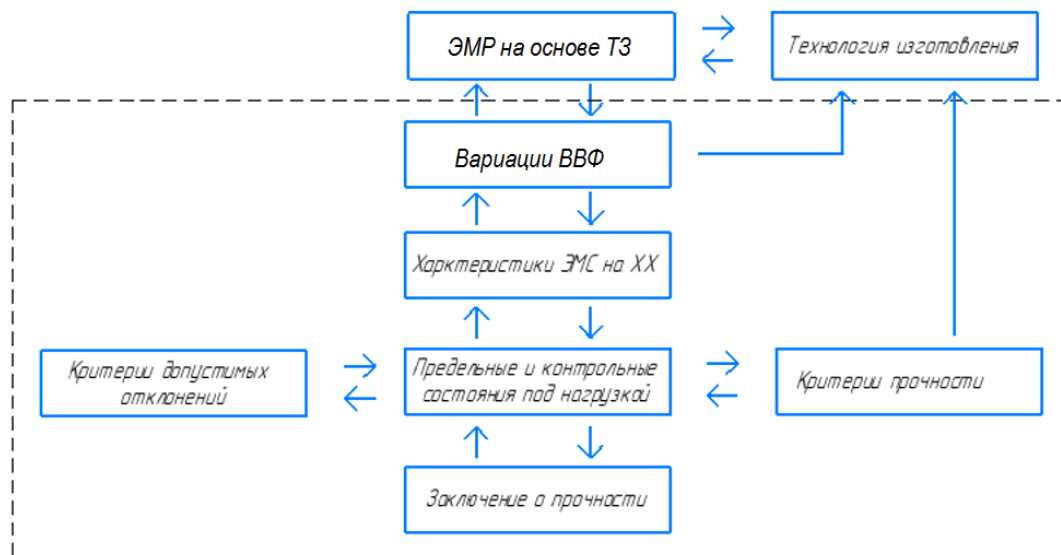


Рисунок 4 – Процесс проведения прочностного исследования и получения заключения о прочности

Этап определения вариаций ВВФ будет заключаться в определении воздействий на конструкцию ИСТГ для всех расчетных случаев, т. е. рассчитать нагрузки, вибрации, статически потенциал, тепловые потоки и т. д [4]. Вид и форма требуемых результатов зависит от потребностей последующих расчетных этапов. Это могут быть характеристики силовых воздействии сопрягаемых элементов, графики, таблицы, числовые значения, аналитические зависимости и т. д.

Исследование характеристик электромагнитной системы (ЭМС) на холостом ходу (ХХ) заключается в проработке активной части ИСТГ на основе мат модели ИСТГ (значений напряжений, токов, начальных пусковых моментов, мощности, деформаций элементов конструкции ротора и пр.) при любых вариациях ВВФ во всех расчетных случаях. Далее характеристики оптимизируются для всех расчетных схем методами конечных элементов и оценки запаса прочности с использованием необходимых экспериментальных данных.

Определение предельного состояния под нагрузкой заключается в анализе состояния конструкции ИСТГ и всех величин соответствующих воздействий на основе характеристик ЭМС и критериев прочности при всех режимах работы. Напрямую зависит от критериев прочности материалов. Предельным состоянием ИСТГ может являться режим, при котором он неспособен выполнять свои функциональные показатели. Это может быть критические частоты, разрушение, отклонение характеристик, падение момента и др.

Определение критериев прочности заключается в проработке конструкции в целом, зависящий от имеющихся технологических и производственных возможностей и режимов работы под нагрузкой, определяется расчетным или экспериментальным путем проверки характеристик.

Заключением всех этапов является формулировка, определение и сведение параметров, характеризующих конструкцию с подтверждением заключения о прочности итоговой конструкции. На основе анализа предельных и контрольных состояний элементов и конструкции в целом для каждого расчетного случая в соответствии с требованиями норм летной годности формируют заключение о прочности. На его основе принимают решение о пригодности конструкции или о необходимых доработках.

Таким образом подводя итог можно говорить о целесообразности всестороннего подхода при работе над разработкой интегрированной системы, обращая особое внимание на выполнение теплового баланса, электромагнитных расчетов и прочностного анализа.

Литературы

1. Каталог продукции АО «Аэроэлектромаш» 2024г. [Электронный ресурс]. URL: https://www.aeroem.ru/assets/img/content/Catalogs/AEM-Catalogue_pages_RU.pdf (дата обращения 11.07.2024)
2. Власов А.И. Исследование взаимосвязи массы и энергетической эффективности авиационных стартер-генераторов с воздушным охлаждением. Электроснабжение и электрооборудование. 2011 г. Вып. 4. с. 16 – 20.
3. Охотников М.В., Вавилов В.Е., Лисовин И.Г., Исмагилов Ф.Р. Возможность внедрения интегрированного-стартер генератора в корпус газотурбинного двигателя. Электротехника, 2023. – № 12.
4. Исмагилов Ф.Р., Вавилов В.Е. и др. Определение критической частоты вращения ротора высокого давления для двухконтурного турбореактивного двигателя с интегрированным стартером-генератором. «Вестник ИГЭУ». 2022 г. Вып. 6. с. 37 – 48.
5. Лопатина А.А., Фатхиева Р.А., Терентьев А.А. Анализ возможности применения термоэлектрических генераторов в авиационных двигателях // Вестник Казанского Государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2017. – № 2. – С. 42-48.
6. Грузков С.А. Электрооборудование летательных аппаратов Том 1, ред. - 2005.
7. Электрический стартер-генератор от компании Rolls-Royce [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eastunion.ru/news/19-jun/starter-generator-rolls-royce/>. (дата обращения 15.07.2024).
8. Свидетельство о государственной регистрации патента на изобретение № 2024105387. Вертикальный трубчатый электрофильтр / Охотников М.В., Исмагилов Ф.Р., Вавилов В.Е., Юшкова О.А., Лисовин И.Г.; опубл. 18.01.2017, Бюл. № 2.
9. Генератор постоянного тока ГС-24А [Текст]: Техн. описание и инструкция по эксплуатации / СССР, В/О "Авиаэкспорт". - Москва: Внешторгиздат, [1967]. - 7 с. : ил.; 20 см.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ПОИСКА РЕШАЮЩИХ ГРАФОВ В ЭКСПЕРТНЫХ ПРОДУКЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.

Русакова З.Н.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Россия, Москва

Рассматривается решение задачи оптимизации построения деревьев решений в продукционных системах искусственного интеллекта. База знаний представляется семантической сетью формализуемой графом И-ИЛИ. Оптимизация поиска решения достигается объединением прямых и обратных методов: в глубину от цели и в ширину от данных за счет формирования списков закрытых вершин и правил двумя параллельными алгоритмами. Методами обобщенного программирования C++ разработан класс, реализующий логический вывод на графах И-ИЛИ.

Ключевые слова: правила продукции, гиперграфы, деревья решений, шаблоны классов, семантические сети, экспертные системы, логический вывод.

Optimization of methods for searching decision graphs in expert production systems. Rusakova Z.N., MSTU im. N.E. Bauman, Russia, Moscow

The solution to the problem of optimizing the construction of decision trees in artificial intelligence production systems is considered. The knowledge base is represented by a semantic network formalized by an AND-OR graph. Optimization of the search for a solution is achieved by combining direct and inverse methods: depth-wise from the goal and width-wise from the data by generating lists of closed vertices and rules by two parallel algorithms. Using generalized C++ programming methods, a class has been developed that implements logical inference on AND-OR graphs.

Keywords: production rules, hypergraphs, decision trees, class templates, semantic networks, expert systems, inference.

Введение

В продукционных экспертных системах искусственного интеллекта (ИИ) база знаний (БЗ) описывается с помощью набора правил продукции (ПП) вида: если <условия>, то <заключение>, т.е., если все условия, связанные логической операцией “И”, истинны, то истинно заключение. Поиск решения в семантических сетях соответствует построению дерева решения в гиперграфах И-ИЛИ [1,2,3,5].

В данной работе предлагается оптимизированный алгоритм поиска, объединяющий обратный метод в глубину от цели и прямой в ширину от данных. Оптимизация достигается за счет параллельного формирования закрытых списков вершин и правил при поиске в ширину от данных. Программная

реализация решения задачи моделирования деревьев решений осуществляется средствами обобщенного программирования C++ [4].

Метод решения

Для описания БЗ используется представление продукционных правил (ПП) двудольным графом - модулем с двумя типами вершин. Набор правил БЗ представляет семантическую сеть, которая формализуется графом И-ИЛИ []. Программная реализация решения задачи определения деревьев решений осуществляется средствами обобщенного программирования C++. Разработана иерархия обобщенных классов: базовый класс – шаблон `Poisk_hypergraphs` и классы потомки, в методах которых реализуются различные алгоритмы вывода [2, 3]. В [3] описывается класс потомок для поиска решающего графа на основе стратегии обратного вывода методом поиска в глубину.

Полями шаблона базового класса `Poisk_hypergraphs` объявляются списки открытых и закрытых вершин и правил: `listOpenNodes`, `listCloseNodes`, `listOpen_prav`, `listClose_prav`,

флаги решения, определяющие результат поиска: `fy` - решение, `fn` – нет решения,

список базы правил, описывающих граф: `baza`;

Модуль правила описывается структурой данных классом `Modul_prav`:

```
class Modul_prav {
public:
    int num_p, // номер правила
    Ver vc; // выход
    Ver * mv; // массив входных вершин
    int metka; // флаг просмотра
    int n; // число входных вершин
    Modul_prav ( int n_pr, int np, Ver bc, Ver b[] ) { // конструктор
        num_p=n_pr; vc=bc; n=np;
        mv=new Ver[n]; metka=0;
        for(int i=0; i<n; i++) mv[i]=b[i]; }
};
```

Полями структуры данных `Ver`, описывающей вершину, объявляются номер вершины и флаг, определяющий ее состояние.

В данной работе рассматривается описание класса потомка, объединяющего прямой и обратный подход. Методами этого класса осуществляется двунаправленный алгоритм поиска. Методом поиска в ширину от данных дополняется список закрытых вершин, т.е. заданных или доказанных, которые параллельно формируются методом поиска от цели. Для организации двунаправленного поиска в классе потомке создаются два новых метода. В методе определения потомков – `int poisk_potomki_data ()` определяется набор правил, которые выполняются на данных рабочей памяти. Рабочая память, это список заданных вершин и вершин, закрытых (доказанных) в процессе поиска - `listCloseNode`. Этот список формируется двумя методами: обратным от цели и в ширину от данных. Он один на два метода.

В предлагаемом алгоритме двунаправленного поиска применяются два метода: обратный от цели и прямой в ширину от данных. Обратные методы от в ширину и в глубину от цели представлены в [2, 3]. Списки закрытых вершин и правил являются рабочей памятью, формируемой в процессе поиска. Список закрытых вершин `listCloseNode` включает заданные вершины и вершины, доказанные в процессе вывода. Список закрытых правил `listClose_prav` – список правил, доказанных в процессе поиска и содержащих решающий граф.

В рассматриваемом алгоритме список закрытых вершин создается параллельно двумя методами: прямой в ширину от данных и обратный в глубину от цели. Этот список `listCloseNodes` один на два метода. Список закрытых правил формируется слиянием двух списков: один при поиске от данных - `listClose_prav2`, другой - в обратном поиске от цели - `listClose_prav`. Слияние этих списков выполняется в случае достижения целевой вершины одним из двух методов. Суммарный список закрытых правил - это список правил, доказанных в процессе поиска и содержащих решающий граф.

Прямой метод в ширину от данных реализован в методе `int poisk_data ()`. Поиск выполнимых правил в алгоритме прямого вывода реализован в методе класса `int poisk_data ()`. Решение задачи поиска в прямом методе в ширину от данных выполняется в цикле “пока”. Пока целевая вершина не доказана, или доказано, что решения нет выполняются следующие действия:

На каждом шаге цикла просматривается база правил с целью определения набора правил, для которых входные вершины модуля правила покрываются текущими данными рабочей памяти. Рабочая память - это список заданных вершин и доказанных вершин в процессе поиска. Если выполняется условия покрытия, то правило доказано. Доказанные модули переносятся в список закрытых, их метка устанавливается в 1, и удаляются из базы. Выходная вершина модуля правила добавляется в список закрытых. Если эта вершина совпадает с целевой, то флаг решения `fy` сбрасывается в нулевое значение.

Если нашли правило достигающее цель, то установили флаг решения и вышли из цикла.

Иначе анализируется признак количества новых доказанных правил. Если на текущем шаге не цикла не было доказано хотя бы одно новое правило, то решения нет и выход из цикла, флаг решения $fn = 0$. Код метода поиска в ширину от данных:

```
int poisk_data () { int j ;  
//Пока целевая вершина не доказана, или доказано, что решения нет,  
// (пока флаги решения fy и fn равны 1)  
while ( fy && fn ) {  
    // поиск доказанных правил  
    j = poisk_potomki_data (); // j- количество выполнимых правил  
    if ( fy == 0 ) {  
        cout << " решение – доказанные вершины и правила";  
        Close_prav.print_List();  
        return 1; }  
    else if ( j==0 )  
    { cout<< " нет решения ";  
      fn=0; return 0; }  
    }  
return 0;  
}
```

Для определения набора правил, которые выполняются на текущих данных рабочей памяти и дополнения списка закрытых вершин, разработан метод класса `int poisk_potomki_data ()`. Рабочая память - это список заданных вершин и доказанных вершин в процессе поиска. Алгоритм:

Просматривается база правил `baza` в цикле `while` по списку правил.

Для каждого текущего правила `baza.cur->data` выполняется проверяется, что метка правила равна 0, т.е. правило еще не выбрано. Если условие выполняется, то проверяется условие покрытия его множества вершин входов данными рабочей памяти, т.е. его входные вершины заданы или доказаны. При этом выполняется проверка вхождения каждой вершины из входов модуля в список закрытых вершин `listCloseNodes`. Вызывается функция, в которой определяется покрытие входов модуля закрытыми вершинами (т.е. определяется пересечение двух множеств вершин), возвращается число входных вершин модуля, входящих в список закрытых вершин, флаги входящих вершин устанавливаются в истину:

```
prov( listCloseNodes, baza.cur->data, m);
```

Если покрытие множества входных вершин модуля закрытыми выполняется, то модуль `baza.cur->data` доказан и переносится в список закрытых правил `listClose_prav2`, выходная вершина правила `baza.cur->data.vc` заносится в список доказанных закрытых вершин `listCloseNodes`, флаг выходной вершины устанавливается в 1 - `baza.cur->data.vc.flag=1`.

Если выход модуля правила совпадает с целевой вершиной, флаг поиска `fy` сбрасывается в нулевое значение и выполняется выход из цикла просмотра базы правил.

Если нет правил, которые выполняются на рабочей памяти, тогда ничего не записывается и возвращается число потомков равное 0.

Код метода поиска выполнимых правил `baza.cur->data` на данной текущей версии рабочей памяти – список закрытых вершин `listCloseNodes`:

```
int poisk_potomki_data () { int i,j, k, m;  
    baza.cur=baza .first; // текущий указатель устанавливается на начало списка базы правил  
    while ( baza.cur && fy ) {  
        // выбирается еще не выбранный текущий модуль правила: data.metka =0  
        if ( baza.cur->data.metka == 0 ){  
            m=baza.cur->data.n; //число входов правила  
            //вызывается функция, в которой определяется покрытие входов модуля закрытыми вершинами  
            //возвращается число входных вершин модуля, входящих в список закрытых вершин,  
            k= prov( listCloseNodes, baza.cur->data, m);  
            /* если покрытие выполняется, то модуль baza.cur->data доказан и  
            переносится в список закрытых правил listClose_prav2,  
            метка правила устанавливается в 1,  
            выход модуля - baza.cur->data.vc – в список доказанных закрытых вершин listCloseNodes, */  
            //Если выход модуля является целевой вершиной, то выход из метода и установка флага решения  
            if ( k==m && baza.cur->data.vc == cel){ нашли решение  
                fy=0;  
                j++;  
            // запись в список закрытых правил найденного правила)
```

```
listClose_prav2.add(baza.cur->data);  
// запись в список закрытых вершин доказанной вершины)  
listCloseNodes.add( baza.cur->data.vc);  
}  
else // если не достигли цели  
if (k==m){  
// запись в список закрытых правил найденного правила)  
listClose_prav2.add(baza.cur->data);  
baza.cur->data.metka =1; // метка правила  
j++; //счетчик доказанных правил  
listCloseNodes.add ( baza.cur->data.vc); // выход модуля в список закрытых  
}  
}  
baza.cur = baza.cur->next; // переход по базе правил  
}  
return j;  
}
```

Алгоритм двунаправленного поиска реализуется путем объединения методов прямого и обратного поиска. В предлагаемом методе, объединяющим прямой поиск в ширину от данных и обратный от цели, на каждом шаге цикла создаются списки закрытых вершин и правил, которые создаются методами поиска потомков для обратного и прямого методов. Эти методы работают с одним и тем же списком закрытых вершин и изменяют его, списки закрытых правил – разные listClose_prav и listClose_prav2. Прямой и обратный поиск выполняется параллельно, что позволяет ускорить процесс вывода.

Программная реализация алгоритма основывается на модификации одного из методов поиска. На основе рассмотренного поиска от данных int int poisk_data разработан метод класса двунаправленного поиска int poisk_gl_data(). После вызова метода поиска разрешимых правил в прямом поиске и анализа флагов решения вызывается метод поиска потомков обратного поиска от цели, в котором используется новый модифицированный список закрытых вершин и выполняется анализ полученных флагов решения.

Заключение

Разработан метод объединения прямого и обратного поиска в ширину от данных и обратного от цели для определения дерева решения в продукционных системах ИИ. Разработано программное обеспечение на основе обобщенного программирования C++, обеспечивающего распараллеливание вычислений.

Литература

1. Джексон П. Введение в экспертные системы. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2020.
2. Rusakova Z. N. C++ software tools for modeling artificial intelligence production systems. International scientific – practical conference «information innovative technologies», 2022
3. Русакова З.Н. Проектирование шаблона C++ для построения решающих графов в продукционных системах. Международный научно-исследовательский журнал International research journal 2022 часть 1 январь
4. Прагик Джоши. Искусственный интеллект с примерами на Python Пер. с англ. - СПб. : ООО "Диалектика", 2019. - 448 с. –
5. Седжвик Р. Алгоритмы на C++. Фундаментальные алгоритмы и структуры данных. – М.: Вильямс, 2013. – 1056 с.

КОНСТРУКТОР МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Чаругин В.В., Чаругин В.В., Чесалин А. Н.
МИРЭА – Российский технологический университет
+7 (925) 197-83-00, valentin.1999@mail.ru

Статья посвящена разработке и исследованию конструктора мультимодальной обработки данных, предназначенного для интеграции и анализа информации из различных источников и форматов. Представлен основной принцип работы конструктора, его архитектура и методы обработки данных.

Ключевые слова: мультимодальная обработка данных, интеграция, анализ данных, машинное обучение, генеративные алгоритмы, дискриминационные алгоритмы, архитектура.

Constructor of multimodal data processing. Charugin V. V., Charugin V. V., Chesalin A. N., MIREA – Russian technological university.

The paper is devoted to the development and research of a multimodal data processing constructor designed for the integration and analysis of information from various sources and formats. The basic operating principle of the designer, its architecture and data processing methods are presented.

Keywords: multimodal data processing, integration, data analysis, machine learning, generative algorithms, discriminative algorithms, architecture.

Введение

С развитием интернета и цифровых технологий объемы данных, которые необходимо обрабатывать растут ежедневно. Эти данные могут содержать информацию в разных форматах, включая текст, изображения, аудио и видео. Для их обработки требуются более сложные подходы, способные анализировать информацию из различных источников одновременно. Таким образом, появляется необходимость в создании системы, способной соответствовать данным требованиям – конструкторе мультимодальной обработки данных.

В данной работе рассматривается проблема универсальной обработки данных, приходящих в разных форматах (текст, изображения, аудио и видео) и из разных источников. Предлагается построение конструктора мультимодальной обработки данных, который позволит пользователям без глубоких технических знаний создавать и настраивать сценарии с использованием алгоритмов искусственного интеллекта для решения различных задач.

Описание конструктора мультимодальной обработки данных, его возможностей и решаемых им задач

Конструктор мультимодальной обработки данных (далее - Конструктор) представляет собой платформу, которая позволит пользователям выбирать и комбинировать различные компоненты, создавая сценарии для решения комплексных задач. Данный инструмент имеет визуальное программирование, что позволяет исследователям и практикам создавать инновационные решения, способные обрабатывать и анализировать данные из различных источников с высокой эффективностью.

Конструктор мультимодальной обработки данных предлагает следующие ключевые возможности:

1. Модульность. Пользователи имеют возможность выбрать из широкого спектра предварительно разработанных модулей компоненты для обработки различных типов данных, таких как изображения, видео, аудио и текст. Каждый компонент специализируется на определенной задаче.

2. Визуальное программирование. Интерфейс Конструктора основан на визуальном программировании, что позволяет пользователям создавать сценарии обработки данных, соединяя компоненты между собой с помощью графических соединителей, без необходимости писать код.

3. Настройка. Пользователи могут настраивать параметры каждого шага компонента для достижения лучших результатов в конкретной задаче.

4. Интеграция с внешними системами. Конструктор поддерживает интеграцию с различными источниками данных и внешними сервисами, что позволяет пользователям легко загружать данные для обработки и экспортировать результаты в нужные форматы или системы.

В конструкторе мультимодальной обработки данных могут применяться следующие модели [1]:

1. Дискриминационные модели

- Многослойный перцептрон (MLP) [2]
- Сверточная нейронная сеть (CNN) [3]
- Рекуррентные нейронные сети RNN и LSTM [4]

2. Генеративные модели

- Вариационный автоэнкодер (VAE) [5]
- Генеративно-состязательная сеть (GAN) [6]
- Трансформеры [7]

Выбор между дискриминационными и генеративными моделями зависит от конкретной задачи и требований к результатам. Дискриминационные модели могут быть предпочтительными, когда необходимо классифицировать или предсказать значения на основе имеющихся данных. Генеративные модели подходят в случаях, когда необходимо создавать новые данные, анализировать скрытые структуры или моделировать сложные распределения (например, в задачах ИБ для обнаружения угроз, предотвращения фишинга, которые рассмотрены в [8]).

Конструктор может быть применен в разных областях (включая задачи обработки естественного текста, рассмотренные в [9]), таких как:

1. Безопасность. Получение данных из систем обнаружения и предотвращения вторжений (IDS/IPS), систем управления информационной безопасностью (SIEM), логов сетевого оборудования и других источников для комплексного анализа угроз и автоматизированного реагирования на инциденты.

2. Медицина. Объединение и анализ разнообразных медицинских данных, включая медицинские изображения (рентген, МРТ, УЗИ), электронные медицинские записи (ЭМР), генетические данные и данные о пациентах из различных источников.

3. Образование. Анализ данных из разнообразных источников, таких как результаты тестирования, данные о выполнении учебных проектов, обратная связь от учителей и студентов, а также данные о вовлеченности студентов в учебный процесс.

Архитектура конструктора мультимодальной обработки данных

На рисунке 1 представлена архитектура конструктора мультимодальной обработки данных, построенная на основе модульно-микросервисной архитектуры [10]. Система разделена на независимые, автономные модули-микросервисы, каждый из которых выполняет свою специфическую функцию.

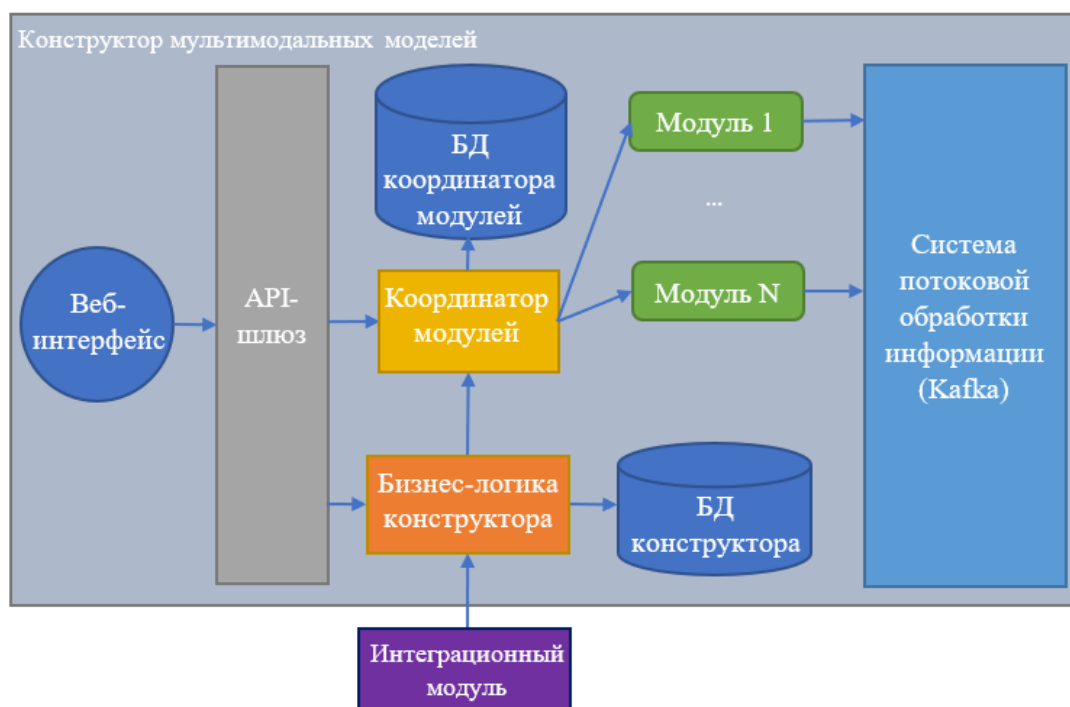


Рисунок 1 – Архитектура конструктора мультимодальных моделей

Конструктор мультимодальной обработки данных состоит из следующих элементов:

1. Веб-интерфейс – пользовательский интерфейс, предоставляющий возможность создавать, настраивать и управлять сценариями обработки данных, используя визуальное программирование или конфигурационные файлы. Пользователи могут определять потоки данных, подключать различные модули и настраивать их параметры для решения конкретных бизнес-задач. Также веб-интерфейс позволяет мониторить выполнение сценариев, просматривать результаты и вносить изменения в рабочие процессы.

2. API-шлюз – элемент, отвечающий за взаимодействие между веб-интерфейсом и другими частями системы.

3. Координатор модулей – элемент, отвечающий за состояние различных модулей обработки данных, распределение нагрузки между модулями и мониторинг доступности модулей.

4. БД координатора модулей – база данных, хранящая информацию о метаданных модулях и их доступности.

5. Модули – наборы программного обеспечения, предназначенные для обработки данных определенного типа (текст, изображения, аудио, видео и т.д.) и извлечения из них полезной информации. Модули могут включать в себя алгоритмы машинного обучения и глубокого обучения для более сложной обработки и анализа данных.

6. Система потоковой обработки данных (Kafka) – система, используемая для передачи больших данных между модулями. Она обеспечивает масштабируемость и надежность взаимодействия между компонентами системы.

7. Бизнес-логика конструктора – элемент, отвечающий за реализацию бизнес-правил и логики обработки данных в рамках созданных сценариев.

8. БД конструктора – база данных, хранящая информацию о созданных сценариях из компонентов и конфигурацию шагов компонентов.

9. Интеграционный модуль – элемент, обеспечивающий интеграцию системы с внешними источниками данных и сервисами, позволяет загружать данные в систему и получать результаты обработки.

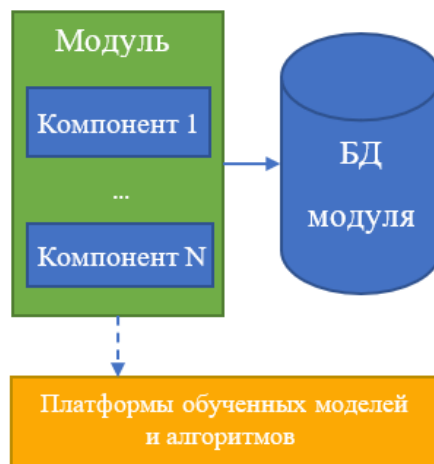


Рисунок 2 – Структура модуля

Модуль представляет собой состоящий из компонентов элемент, который предназначен для выполнения определенной задачи обработки и анализа данных. Он использует базу данных для хранения кэшированных данных, а также информации, необходимой для его работы. Модуль может взаимодействовать с внешней платформой, предоставляющей обученные модели и алгоритмы, для выполнения более сложных задач обработки данных.

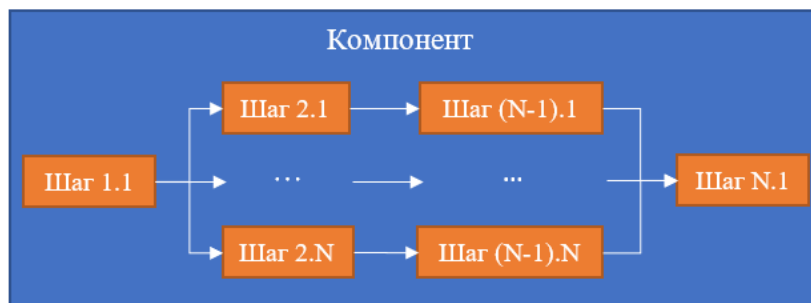


Рисунок 3 – Структура компонента

Компонент представляет собой блок, который позволяет организовать выполнение набора операций (шагов) над данными с возможностью контролировать их порядок выполнения – как последовательный, так и параллельный.

Шаги – основные элементы компонента, представляющие собой отдельные операции или функции, которые выполняются над данными. Каждый шаг может принимать входные данные, обрабатывать их и генерировать выходные данные для последующих шагов.

Обработка данных в компонентах модулей

В компонентах модулей Конструктора процесс обработки данных начинается с преобразования всех входящих типов данных (текст, изображения, аудио, видео и т.д.) в текстовые или числовые форматы. Преобразование данных в текст может происходить различными способами в зависимости от исходного типа данных:

1. Текстовые данные остаются без изменений или могут быть предварительно обработаны методами обработки естественного языка (токенизация, лемматизация, удаление стоп-слов и т.д.).

2. Изображения могут быть обработаны с помощью компьютерного зрения и нейронных сетей. Результатами, может быть, как набор числовых значений, описывающих изображение, так и текстовая информация.

3. Аудио данные преобразуются в текстовые форматы с помощью технологий распознавания речи, а также в числовые

4. Видеоданные обрабатываются кадр за кадром, обрабатывая каждый кадр как изображение (см. выше) или извлекая из кадра различную информацию такую как движение объектов и др.

После преобразования данных в текстовые и числовые форматы, они структурируются в специальные форматы для последующей обработки:

1. Таблицы (для числовых и текстовых форматов) – формат для хранения структурированных данных, где каждая строка представляет собой отдельный объект или запись, а столбцы - атрибуты или характеристики этих объектов.

2. Корпусы (для текстовых форматов) – формат для хранения больших объемов неструктурированного или полуструктурированного текста, которые могут быть использованы для обучения моделей машинного обучения или для проведения статистического анализа.

Эти структуры позволяют эффективно хранить, обрабатывать и анализировать данные в компонентах модулей Конструктора.

Дальнейшая обработка данных может включать в себя применение различных алгоритмов машинного обучения, статистического анализа, обработки естественного языка и других методов в зависимости от типа данных и поставленной задачи. Результаты обработки могут быть использованы для принятия решений, генерации отчетов или дальнейшей аналитики.

Такой подход обработки данных в компонентах модулей позволяет гибко комбинировать различные типы данных и методы обработки для решения сложных мультимодальных задач.

Заключение

В работе предложен конструктор мультимодальной обработки данных, рассмотрена его концепция, архитектура и принцип работы. Он предназначен для упрощения создания сложной обработки данных, извлекая информацию из разнообразных источников и форматов. Имеет визуальное программирование, что делает его доступным для широкого круга пользователей, включая исследователей, без глубоких технических навыков.

Архитектура конструктора модульная и включает графический интерфейс пользователя, библиотеку предварительно разработанных модулей для обработки различных типов данных и механизмы для настройки рабочих процессов, что позволяет пользователям гибко комбинировать существующие модули, создавая уникальные решения для решения комплексных задач.

Конструктор мультимодальной обработки данных может найти применение в широком спектре областей, включая безопасность, медицину, образование и многие другие. Его использование способствует повышению эффективности обработки данных и ускорению внедрения инновационных технологий в различные сферы деятельности.

Литература

1. Generative vs. Discriminative Algorithms. [электронный ресурс]. – URL: <https://www.baeldung.com/cs/ml-generative-vs-discriminative>

2. Перцептрон Розенблатта — машина, которая смогла обучаться. [электронный ресурс]. – URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/perceptron-rozenblatta-mashina-kotoraja-smogla-obuchatsja/>

3. Сверточные нейронные сети: основы и принцип работы. [электронный ресурс]. – URL: <https://gb.ru/blog/svertochnye-nejronnye-seti/>

4. Рекуррентные нейросети: что это и как работают. [электронный ресурс]. – URL: <https://traff.ink/neuroseti/rekurrentnie-nejroseti>

5. Революционная технология в глубоком обучении: Нейросеть VAE (Variational Autoencoder). [электронный ресурс]. – URL: <https://vc.ru/u/2056024-setevye-mysli/757865-revolucionnaya-tehnologiya-v-glubokom-obuchenii-neiroset-vae-variational-autoencoder>

6. Генеративно-сопоставительные сети (GAN): что это и как они работают. [электронный ресурс]. – URL: <https://sky.pro/wiki/python/generativno-sostyazatelnye-seti-gan-chto-eto-i-kak-oni-rabotayut/>

7. Как работают трансформеры? [электронный ресурс]. – URL: <https://huggingface.co/learn/nlp-course/ru/chapter1/4>

8. Чаругин В.В., Чесалин А.Н. Применение генеративных алгоритмов в задачах информационной безопасности // «Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты» Сборник трудов Национальной научно-практической конференции, 2023.

9. Чаругин В.В., Чесалин А.Н. Конструктор блоков обработки естественного языка // «Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты» Сборник трудов Национальной научно-практической конференции, 2024.

10. Микросервисы или модульные системы? Как выбрать подход к архитектуре IT-продукта. [электронный ресурс]. – URL: <https://www.kt-team.ru/blog/microservice-and-modular-systems>

УСКОРЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА АРХИТЕКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ

Кравец А.Г., Егунов В.А., Шабаловский В.А.
ВолгГТУ

В статье рассматриваются архитектурные возможности современных CPU и GPU, особенности их работы с кеш-памятью и методы оптимизации программного кода. Основное внимание уделено разработке и анализу эффективности алгоритма метода бисопряженных градиентов на различных вычислительных платформах с использованием библиотек OpenMP, MKL, cuBLAS.

Ключевые слова: архитектурные особенности CPU и GPU, ускорение вычислений, оптимизация кода, решения СЛАУ, метод бисопряженных градиентов, MKL, cuBLAS.

Acceleration of mathematical computations based on the analysis of architectural features of central and graphic processors. Kravets A.G., Egunov V.A., Shabalovsky V.A. VSTU.

The article discusses the architectural capabilities of modern CPUs and GPUs, the features of their work with cache memory and methods for optimizing program code. The main attention is paid to the development and analysis of the efficiency of the biconjugate gradient method algorithm on various computing platforms using the OpenMP, MKL, cuBLAS libraries.

Keywords: architectural features of CPU and GPU, computational acceleration, code optimization, SLAE solutions, biconjugate gradient method, MKL, cuBLAS.

Введение

В современной научно-технической среде требования к повышению производительности и эффективности вычислительных систем неуклонно растут. Это обусловлено необходимостью как можно быстрее обрабатывать огромные объемы данных и выполнять сложные вычисления, что имеет решающее значение как для научных, так и для промышленных приложений. Основной целью данного исследования является анализ существующих методов повышения эффективности программных реализаций математических вычислений с использованием центральных и графических процессоров на основе метода бисопряженных градиентов.

Постановка проблемы

Для эффективного использования возможностей графических и центральных процессоров, разработчики могут обратиться к множеству готовых библиотек и инструментов. Комплексное применение современных методов оптимизации, основанных на детальном использовании архитектурных особенностях, позволит повысить эффективность вычислительных процессов.

Эффективность программного обеспечения оценивается способностью выполнять задачи при минимальном использовании таких ресурсов, как время выполнения и память. К ключевым факторам можно отнести: оптимизация алгоритмов – использование продвинутых алгоритмических решений для улучшения производительности; архитектурная спецификация – эксплуатация уникальных особенностей архитектуры CPU и GPU для максимизации скорости выполнения; многозадачность и параллелизм – распараллеливание процессов для использования полного потенциала многопроцессорных систем.

В рамках исследования использовался метод бисопряженных градиентов (BiCG). Это один из известных итерационных методов для решения систем линейных уравнений с разреженными или плохо обусловленными матрицами. Задействуется в различных областях, где используются системы с большими размерностями. Рассмотрим алгоритм метода BiCG:

1. Выбрать начальное приближение x_0 , вычислить $r = b - Ax_0$ и выбрать r_0 так, что $(r_0, r_0) \neq 0$ (например, $r_0 = r$)

2. Инициализировать $p_0 = r_0, s_0 = r_0, z_0 = r_0$

3. Для $j = 1, 2, \dots$ до сходимости или до N_{\max}

4. Найти z из системы $Mz = r$;

5. Найти z из системы $MTz = r$;

6. $\alpha = (z, r) / (p, Ap)$

7. $x_{j+1} = x_j + \alpha * p_j$

8. $r_{j+1} = r_j - \alpha * Ap_j$

9. $s_{j+1} = s_j - \alpha * Ap_j$

10. $\beta = (z_{j+1}, r_{j+1}) / (z_j, r_j)$

11. $p_{j+1} = r_{j+1} + \beta * p_j$

$$12. z_{j+1} = r_{j+1} + \beta * z_j$$

13. Увеличить j

Данная реализация является не стандартным методом BiCG, а с модификациями. Первое отличие – обработка указаний и обновлений. Если в основном методе поддерживается двойное обновление матрицы и ее транспонирование, каждая операция отражает другую. То в исследовании реализовано объединение отдельных путей обновления в единый процесс, сокращается количество операций и ускоряется процесс. Второе отличие – сложность и наглядность. Обеспечивается ясность за счет упрощения, что может принести преимущество новым пользователям или тем, кто работает в приложениях, где характеристики матрицы не сильно отличаются от симметрии. Третье – проверка сходимости. Используя более комплексную проверку сходимости, быстрее указывается приближение к решению, но с меньшей точностью.

На первом этапе употреблялась стандартная реализация без библиотеки, которая напрямую поддерживает метод BiCG. Она оказалась не эффективной из-за длительного времени расчета. После чего распараллелены и ускорены такие части, как вычисление произведения матрицы на вектор и обновление его на каждом шаге итерации. Затем, чтобы добиться более быстрого расчета, использовалась библиотека MKL, поддерживающая метод BiCG. Она оптимизирует выполнение матричных операций за счет использования векторизации и многопоточности, что делает её хорошим выбором для расчета на больших размерностях. Это помогает минимизировать время выполнения и максимально использовать аппаратные ресурсы.

1. Инициализация векторов и преобразование матрицы.

```
vector<double> A_flat(N * N);  
for (int i = 0; i < N; ++i) {  
    for (int j = 0; j < N; ++j) {  
        A_flat[i * N + j] = A[i][j];  
    }  
}
```

Матрица A преобразуется в одномерный массив A_flat , что необходимо для использования функций MKL, работающих с плоскими массивами.

2. Вычисление скалярного произведения с использованием MKL.

```
double rdot = cblas_ddot(N, r.data(), 1, r.data(), 1);
```

Функция `cblas_ddot` вычисляет скалярное произведение вектора r с самим собой, что является частью алгоритма для определения нормы вектора.

3. Матрично-векторное умножение.

```
cblas_dgemv(CblasRowMajor, CblasNoTrans, N, N, 1.0, A_flat.data(), N, p.data(), 1, 0.0,  
Ap.data(), 1);
```

`cblas_dgemv` выполняет операцию умножения матрицы на вектор, что является ключевым шагом в алгоритме BiCG.

4. Обновление векторов и параметров.

```
cblas_daxpy(N, alpha, p.data(), 1, x.data(), 1);  
cblas_daxpy(N, -alpha, Ap.data(), 1, r.data(), 1);
```

`cblas_daxpy` используется для обновления векторов x и r , добавляя к ним соответствующие векторы, умноженные на коэффициенты α и $-\alpha$.

Для реализации алгоритма и использованием GPU, выбрана библиотека cuBLAS. В ней нет прямой поддержки BiCG, но она предоставляет базовые операции линейной алгебры, такие как умножение матриц, векторные операции и скалярные произведения [8]. Для более быстрого расчета проведены следующие оптимизации программы.

Оптимизация графического процессора.

1. Параллельная обработка: благодаря использованию cuBLAS на графических процессорах, матрично-векторные операции и обновления векторов выполняются параллельно. Такой параллелизм эффективен для операций с плотными матрицами, так как они требуют больших вычислительных затрат.

2. Использование библиотеки cuBLAS: она оптимизирует процесс, предоставляя такие процедуры, как "cublasDgemv" для матрично-векторного умножения и "cublasDdot" для вычисления точечного произведения.

Оптимизация процессора и памяти.

1. Управление памятью хоста и устройства: происходит эффективное управление передачей памяти между хостом (CPU) и устройством (GPU), сводя к минимуму передачу данных. При этом сокращаются накладные расходы и задержки, которые часто могут быть связаны с вычислениями на графическом процессоре.

2. Асинхронное выполнение: возможность дублирования и передачи данных при асинхронном выполнении показывает более лучшее время, чем при синхронном.

Оптимизация кеширования и векторизации.

1. Употребление графических процессоров по своей сути оптимизирует использование кеша, благодаря архитектуре графического процессора, где каждый блок потока имеет общую память, которая содержится в качестве кеша, управляемого пользователем.

2. Функции cuBLAS изначально предназначены для обработки векторизованных операций, обрабатывая несколько точек данных в одной команде.

Благодаря переносу тяжелых матричных операций на графический процессор, центральный процессор освобождается для выполнения других задач или более эффективного управления операциями ввода-вывода. Также использование графических процессоров позволяет предложенной реализации масштабироваться в зависимости от аппаратного обеспечения.

В рамках исследования различные реализации метода BiCG были оценены по нескольким параметрам: общему времени расчета, максимальной ошибке и времени, непосредственно затраченному на выполнение алгоритма BiCG (рис.1). Этот анализ позволяет оценить как производительность, так и точность каждой из реализаций, выделить их преимущества и недостатки в различных вычислительных условиях.

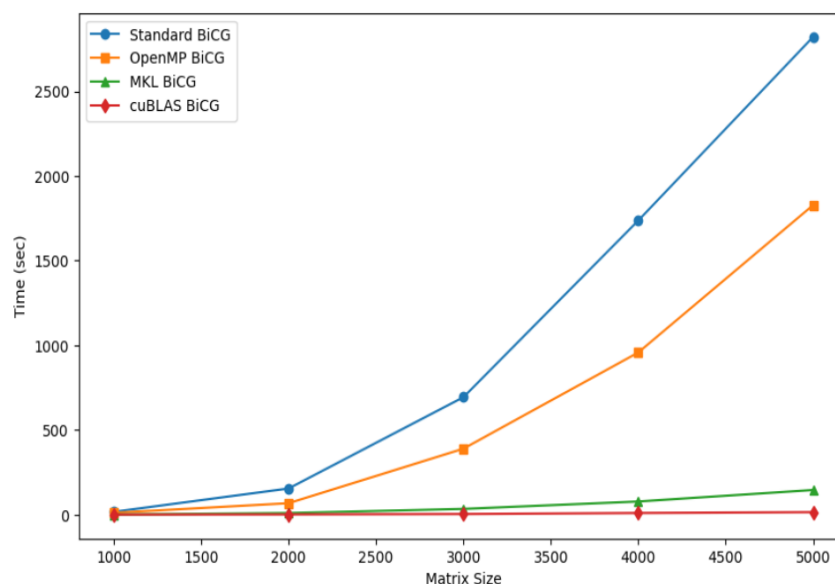


Рисунок 1 – Сравнение разных реализаций метода BiCG

Из графика (рис.1) видно, что при увеличении размерности лучшие результаты показывают алгоритмы MKL и cuBLAS. Сравним теперь реализации MKL и cuBLAS на больших размерностях (рис.2).

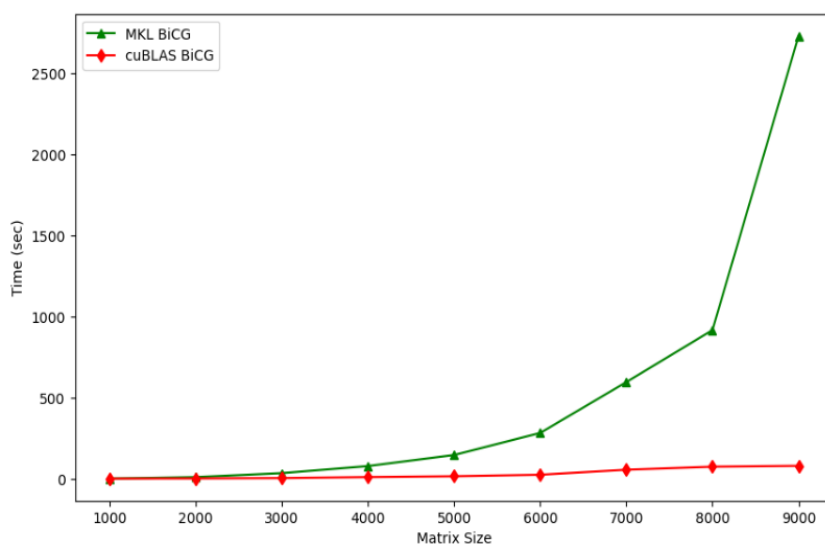


Рисунок 2 – Сравнение алгоритмов MKL и cuBLAS

Можно заметить, что при увеличении размерности, алгоритм cuBLAS показывает лучшие результаты, так как параллельные вычисления позволяют быстрее обрабатываться на больших данных.

Заключение

Разработка и внедрение алгоритмов с использованием современных вычислительных библиотек продемонстрировали хорошее повышение производительности по сравнению с традиционными методами. Результаты проведенных вычислительных экспериментов, в частности полученное в ходе расчетов ускорение, доказывают, что разработанная версия беспорядочных градиентов на GPU значительно оптимизирует итерационный процесс разработанного метода.

Данное исследование демонстрирует, что интеграция глубоких знаний об архитектурных особенностях процессоров с передовыми методами оптимизации может значительно повысить эффективность вычислительных систем. Полученные результаты подчеркивают необходимость постоянной разработки и адаптации алгоритмов для повышения их производительности. Это может привести к разработке новых подходов и технологий для обработки данных и вычислений в научных и промышленных задачах.

Литература

1. Егунов В.А. Кэш-оптимизация процесса вычисления собственных значений на параллельных вычислительных системах / В.А. Егунов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2019. – № 1. – С. 154-163.
2. Мельник Д., Курмангалеев Ш., Аветисян А., Белеванцев А., Плотников Д., Варданян М. Оптимизация приложений для заданных статических компиляторов и целевых архитектур: методы и инструменты // Труды Института системного программирования РАН. 2014. – № 26. – С. 343-356.
3. Basic Linear Algebra on NVIDIA GPUs [Электронный ресурс] // nvidia developer. URL: <https://developer.nvidia.com/cublas>.
4. Dávila M., Nozal R., Gran T., Villarrojo R., Gracia M., Jose D. Cooperative CPU, GPU, and FPGA heterogeneous execution with EngineCL // The Journal of Supercomputing. 2019. – № 75. pp. 1732–1746.
5. Maryam S., Akkirman A., Mert H., Levent G. Comparative benchmarking: matrix multiplication on a multicore coprocessor and a GPU // Computational Electromagnetics International Workshop. 2015.
6. NVIDIA Nsight Systems // nvidia developer. URL: <https://developer.nvidia.com/nsight-systems>.
7. Shuichi A., Tsutomu M., Yoshiki Y. Performance comparison of FPGA, GPU and CPU in image processing // International Conference on Field Programmable Logic and Applications. 2009. pp. 126-131.
8. Егунов, В. А. Новый метод повышения эффективности векторизации операций BLAS / В. А. Егунов, А. Г. Кравец // Информационные технологии. – 2024. – Т. 30, № 6. – С. 318-328.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СЕГМЕНТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

Шамров М.И.

Российский университет транспорта

В статье рассматриваются вопросы синтеза ветвящихся программ для реализации алгоритмов логического управления, описываемых системами булевых функций. Предлагается метод построения сегментных программ, в которых в качестве признаков ветвления используются результаты сравнения кодов.

Ключевые слова: логическое управление, системы булевых функций, ветвящиеся программы.

Software implementation of logical control algorithms based on segmental representation of Boolean functions. Shamrov M.I. Russian University of Transport.

The article discusses issues of synthesis of branching programs for the implementation of logical control algorithms described by systems of Boolean functions. A method is proposed for constructing segment programs in which the results of code comparisons are used as branching features.

Keywords: logical control, Boolean function systems, branching programs.+++

Ветвящиеся программы основаны на использовании команд условных переходов по различным наборам признаков. В простейшем случае признаками являются значения одной входной переменной и такие программы принято называть бинарными [1,2]. В [3] рассмотрены вопросы построения ветвящихся программ (В-программ), в которых в качестве признаков используются значения произвольных булевых функций. В данной работе предлагается метод построения ветвящихся программ, в которых в качестве

признаков ветвления используются результаты сравнения операндов, определенных на входных переменных, с двоичными константами.

Метод основан на предлагаемом сегментном представлении булевых функций. Каждому из 2^n наборов значений входных переменных $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ булевой функции $y = f(x_1, \dots, x_n)$ поставим в соответствие входной операнд \bar{X} с числовым эквивалентом $\bar{X}_i \in \{0, \dots, 2^n - 1\}$. Зафиксируем порядок переменных во входном операнде и определим множество R^1 значений операнда \bar{X} , для которых $y = 1$. (область определения функции y). Множество остальных значений операндов \bar{X} , для которых $y = 0$, обозначим R^0 . Очевидно, $|R^1 \cup R^0| = 2^n$. Назовем сегментом S_i совокупность значений входных операндов, принадлежащих одному из множеств R^0, R^1 , для которых их числовые эквиваленты образуют последовательность соседних чисел натурального ряда. Будем задавать сегмент максимальным H_i и минимальным L_i числом последовательности и назовем их соответственно верхней и нижней границами сегмента S_i . Будем называть сегментной булеву функцию s , для которой область определения R^1 состоит из одного сегмента хотя бы при одной из возможных расстановок переменных во входном операнде.

Любая булева функция, существенно зависящая от n переменных, может быть представлена в виде дизъюнкции сегментных функций:

$$y = s_1 \vee s_2 \vee \dots \vee s_\lambda, \lambda \leq 2^{n-1} \quad (1)$$

Действительно, зафиксировав порядок входных переменных в операнде \bar{X} , множества R^0, R^1 можно разбить на сегменты так, чтобы любые два соседних сегмента S_i и S_{i+1} ($H_i + 1 = L_{i+1}$) относились к разным множествам R^1, R^0 . При этом все наборы входных переменных множества R^1 будут состоять из λ непересекающихся сегментов, каждому из которых соответствует сегментная функция s_i . Отсюда следует (1). Число сегментов λ зависит от расстановки входных переменных в операнде и определяется последовательностями единиц и нулей в двоичном векторе, задающем функцию y на каждом из 2^n наборов входных переменных. Максимальное число сегментов может быть получено в том случае, когда такие последовательности включают не более одного компонента, причем хотя бы одна последовательность должна состоять из двух одинаковых компонентов, в противном случае функция y не является существенно зависящей от n переменных. Отсюда следует $\lambda \leq 2^{n-1}$.

Вычисление значения функции (1) можно осуществлять путем определения принадлежности значения входного операнда к сегментам S_i сравнением с границами сегментов ($L_i \leq \bar{X} \leq H_i$). Для этого в ветвящихся программах могут использоваться команды условного перехода по признакам сравнения входного операнда \bar{X} с константами L_i, H_i . Формирование такого признака поддерживается аппаратными средствами микроконтроллеров. Например, при использовании операции арифметического сложения \bar{X} с дополнительным или обратным кодом константы L_i (H_i) значение переноса задает признак $\bar{X} \geq L_i$ (H_i), $\bar{X} > L_i$ (H_i).

Под сегментной программой, реализующей булеву функцию $y = f(x_1, \dots, x_n)$, будем понимать программу, состоящую из 2 типов команд:

- команд условных переходов по признакам, полученным путем сравнения входного операнда с двоичной константой: $\bar{X} \sim K \mid K \in \{0, \dots, 2^n - 1\}$, где K – двоичная константа с разрядностью n , а оператор \sim – один из операторов $\geq, >, <, \leq$.
- команд присвоения значения функции $y = 6 \mid 6 \in \{0, 1\}$.

Будем представлять сегментную программу ориентированным ациклическим S-графом, в котором условной команде соответствует условная вершина, помеченная признаком $\bar{X} \sim K$ и имеющая два исходящих ребра, соответствующих значениям признака. Одна из условных вершин без входящих ребер является начальной. Каждой команде присвоения соответствует конечная операторная вершина без исходящих ребер, помеченная оператором $y = 6 \mid 6 \in \{0, 1\}$. Далее будем понимать под синтезом сегментной программы построение соответствующего ей S-графа.

Для построения S-графа, реализующего булеву функцию (1), определим верхние и нижние границы всех сегментов, на которых определены сегментные функции s_i , и упорядочим их в порядке возрастания (в частных случаях границы $L_1 = 0$ и $H_\lambda = 2^n - 1$ могут быть исключены):

$$L_1 \rightarrow H_1 \rightarrow L_2 \rightarrow H_2 \rightarrow \dots \rightarrow L_\lambda \rightarrow H_\lambda \quad (2)$$

S-граф может быть реализован в виде бинарного дерева, узлы которого соответствуют условным вершинам с признаками сравнения входного операнда с границами из (2), а каждый путь в дереве завершается оператором $y = 6 \mid 6 \in \{0, 1\}$. Можно показать, что общее число узлов дерева, определяющее объем сегментной программы, равно $N \in \{2\lambda, 2\lambda - 1, 2\lambda - 2\}$, а длина T максимального пути в дереве (высота дерева) определяется способом его построения и может меняться в пределах $\lceil \log_2 N \rceil \leq T \leq N$.

Параметры сегментных программ существенно зависят от количества сегментных функций λ в сегментном представлении функций (1). В свою очередь это количество определяется расстановкой переменных во входном операнде. Исключением являются симметрические функции, в которых 2^n – разрядный вектор, задающий функцию на каждом из 2^n наборов входных переменных, не зависит от

расстановки переменных во входном операнде. Для оптимизации сегментных программ могут быть использованы некоторые свойства сегментных функций, рассматриваемые ниже.

Назовем сегментной концевой функцией (v -функцией) сегментную функцию от n переменных, для которой верхняя граница сегмента равна $2^n - 1$. Будем задавать v -функции только нижней границей сегмента.

Любая сегментная концевая функция v является монотонной булевой функцией. Действительно для любых двух сравнимых операндов $\bar{X}_i \leq \bar{X}_j$, $\bar{X}_i \in R^0$, $\bar{X}_j \in R^0$ выполняется условие $v(\bar{X}_i) = v(\bar{X}_j)$. Аналогично условие выполняется для операндов, принадлежащих множеству R^1 . Для двух сравнимых операндов из разных множеств $\bar{X}_i \leq \bar{X}_j$, $\bar{X}_i \in R^0$, $\bar{X}_j \in R^1$ также выполняется условие монотонности, так как $v(\bar{X}_i) < v(\bar{X}_j)$.

Сегментная концевая функция $v_n(x_n, \dots, x_1)$, существенно зависящая от n переменных, при фиксированном порядке переменных во входном операнде \bar{X} может быть представлена в виде:

$$v_n(x_n, \dots, x_1) = x_n * (x_{n-1} * (\dots (x_2 * (x_1) \dots)) = x_n * v_{n-1}(x_{n-1}, \dots, x_1) \quad (3)$$

где $*$ - знак логической операции $\&$ или \vee .

Очевидно, что при $n = 1$ $v_1 = x_1$, что соответствует (3). При $n = 2$ возможно не более 2 сегментных концевых функций, существенно зависящих от 2 переменных: $v_2 = x_2 \& x_1$, $v_2 = x_2 \vee x_1$ и, следовательно, $v_2(x_2, x_1) = x_2 * v_1(x_1)$. Пусть $v_i(x_i, \dots, x_1)$ произвольная сегментная концевая функция, существенно зависящая от i переменных ($2 < i \leq n - 1$). Покажем, что произвольная сегментная концевая функция $v_{i+1}(x_{i+1}, x_i, \dots, x_1)$, существенно зависящая от $i + 1$ переменных, может быть представлена в виде $v_{i+1} = x_{i+1} * v_i(x_i, \dots, x_1)$. Очевидно, что функция v_{i+1} не может быть определена на единичных сегментах с $L_{i+1} = 0$, $L_{i+1} = 2^i$, так как при этом нарушается условие существенной зависимости от $i + 1$ переменных. Любая сегментная концевая функция v_{i+1} с $0 < L_{i+1} < 2^i$ может быть задана в виде $v_{i+1} = x_{i+1} \vee v_i(x_i, \dots, x_1)$. Любая функция v_{i+1} с $2^i < L_{i+1} < 2^{i+1}$ в виде может быть задана в виде $v_{i+1} = x_{i+1} \& v_i(x_i, \dots, x_1)$. Отсюда следует справедливость (3).

Отметим, что выражение (3) задает оптимальный порядок расстановки переменных во входном операнде \bar{X} , при котором функция является сегментной концевой и определена на одном сегменте.

Любая сегментная функция s_i может быть представлена в виде $s_i = v_{i1} \bar{v}_{i2}$, где v_{i1} – сегментная концевая функция с $L_{i1} = L_i$, v_{i2} – сегментная концевая функция с $L_{i2} = H_i + 1$ (L_i, H_i – границы сегмента, на котором определена s_i).

Любая булева функция $y = f(x_1, \dots, x_n)$, существенно зависящая от n переменных, может быть представлена в следующем виде:

$$y = \overline{v_1 v_2 v_3 \dots v_n} \mid \eta \leq 2^n, v_i - \text{сегментные концевые функции}$$

Представим исходную функцию в виде (1) так, чтобы $L_i < L_{i+1}$. Тогда с учетом $s_i = v_{i1} \bar{v}_{i2}$ запишем (1) в следующем виде

$$y = v_{11} \bar{v}_{12} \vee v_{21} \bar{v}_{22} \vee \dots \vee v_{\lambda 1} \bar{v}_{\lambda 2} \quad (4)$$

Поскольку $v_{i1} \& v_{j1} = v_{j1}$ при $L_{i1} < L_{j1}$, (4) запишем в следующем виде:

$$y = v_{11} \bar{v}_{12} \vee v_{11} v_{21} \bar{v}_{22} \vee \dots \vee v_{11} v_{21} \dots v_{\lambda 1} \bar{v}_{\lambda 2} = \overline{v_{11} v_{12} \dots v_{\lambda 1} v_{\lambda 2}} \quad (5)$$

Из (5) с учетом $\lambda \leq 2^{n-1}$ следует верхняя оценка сложности представления булевой функции сегментными концевыми функциями: $\eta \leq 2^n$. В частных случаях при $L_1 = 0$ следует $v_{11} = 1$, при $H_\lambda = 2^n - 1$ следует $\bar{v}_{\lambda 2} = 1$ и переменные $v_{11}, v_{\lambda 2}$ могут быть исключены из (5).

Ниже рассматриваются особенности построения сегментных программ, реализующих вычисление системы булевых функций. Будем представлять реализуемое логическое преобразование в виде СБФ:

$$y_j = f_j(X_j) \mid j = \overline{1, m}; X_j \subseteq X; X = \{x_1, \dots, x_n\}; Y = \{y_1, \dots, y_m\}, \quad (6)$$

где: X - множество входных переменных, Y - множество выходных переменных.

Разобьём множества X, Y на подмножества, образующие входные и выходные операнды программы:

$$X = \{X_i \mid i = \overline{1, r}\}, \cup_{i=1}^r X_i = X, X_\alpha \cap X_\beta = \emptyset \mid \alpha \neq \beta$$

$$Y = \{Y_j \mid j = \overline{1, s}\}, \cup_{j=1}^s Y_j = Y, Y_\alpha \cap Y_\beta = \emptyset \mid \alpha \neq \beta$$

Более общим случаем является $X_\alpha \cap X_\beta \neq \emptyset \mid \alpha \neq \beta$. При использовании микроконтроллеров будем полагать, что $1 \leq |X_i| \leq \rho$, $1 \leq |Y_j| \leq \rho$, где ρ – разрядность обработки.

Под сегментной программой, реализующей преобразование (6), будем понимать программу, состоящую из 2 типов команд:

– команд условных переходов по признакам, полученным путем сравнения входного операнда с двоичной константой $\bar{X}_i \sim K \mid i = \overline{1, r}, K \in \{0, \dots, 2^{|X_i|} - 1\}$ (\sim - оператор сравнения),

– команд присвоения значений выходным операндам $\bar{Y}_j = K | j = \overline{1, s}, K \in \{0, \dots, 2^{|\bar{Y}_j|} - 1\}$,

Будем представлять S-программу ориентированным ациклическим S-графом, в котором условной команде соответствует условная вершина, помеченная признаком $\bar{X}_i \sim K$ и имеющая два исходящих ребра, соответствующих значениям признака. Одна из условных вершин без входящих ребер является начальной. Каждой команде присвоения соответствует операторная вершина, помеченная оператором $\bar{Y}_j = K$ с одним исходящим ребром для промежуточных вершин, либо без исходящих ребер для конечных вершин графа.

Для построения S-графа преобразуем исходную СБФ (6) следующим образом. Для функций $\{f_{j1}, \dots, f_{jm_j}\}$, входящих в каждое из подмножеств $Y_j | j = \overline{1, s}$ определим все возможные элементарные конъюнкции функций ранга m_j :

$$F_{jk} = f_{j1}^{6_{j1}^k} \& \dots \& f_{jm_j}^{6_{jm_j}^k} | 6 \in \{0, 1\}, f^1 = f, f^0 = \bar{f}, k = \overline{0, 2^{m_j} - 1}, k = 6_{j1}^k \dots 6_{jm_j}^k$$

Каждая из функций F_{jk} определяет условие формирования выходного операнда $\bar{Y}_j = k$. При $F_{jk} = 1$ выходной операнд $\bar{Y}_j = k$. При $F_{jk} = 0$, выходной операнд \bar{Y}_j не может быть равным k и такие функции F_{jk} исключаются из дальнейшего рассмотрения.

В результате получим СБФ для вычисления значений выходных операндов:

$$\{F_{jk} | j = \overline{1, s}, k \in \{0, 1, \dots, 2^{m_j} - 1\} \quad (7)$$

Построению S-графа по (7) должен предшествовать выбор следующих основных параметров, влияющих на быстродействие и сложность реализуемых программ:

- вариант разбиения входных и выходных переменных для предоставления их операндами,
- порядок обработки входных операндов,
- расстановку переменных во входных операндах.

Ниже рассматривается вариант построения S-графа без учета перечисленных параметров, полагая, что они могут быть использованы на последующих этапах разработки для оптимизации программ.

В соответствии с зафиксированным вариантом параметров осуществим разложение каждой из функций (7) по переменным, входящим в первый входной операнд с переменными $X_1 = \{x_1 \dots x_{n_1}\}$.

$$F_{jk} = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots \bar{x}_{n_1} F_{jk}(0, \dots, 0, x_{n_1+1}, \dots, x_n) \vee \dots \vee x_1 x_2 \dots x_{n_1} F_{jk}(1, \dots, 1, x_{n_1+1}, \dots, x_n) = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots \bar{x}_{n_1} F_{jk}^0(x_{n_1+1}, \dots, x_n) \vee \dots \vee x_1 x_2 \dots x_{n_1} F_{jk}^{2^{n_1}-1}(x_{n_1+1}, \dots, x_n) \quad (8)$$

Результат разложения (8) проиллюстрирован на рис.1.

Выделим для каждого значения входного операнда $\bar{X}_1 = \varphi | \varphi \in \{0, 2^{n_1} - 1\}$ множество функций $\Phi_1^\varphi = \{F_{jk}^\varphi | j = \overline{1, s}, k \in \{0, 2^{m_j} - 1\}\}$ (см. пунктир на рис.1). Будем называть множества функций Φ_1^φ и $\Phi_1^\psi | \varphi \neq \psi$ одинаковыми, если для всех функций из этих множеств справедливо $F_{jk}^\varphi = F_{jk}^\psi | j = \overline{1, s}, k \in \{0, 2^{m_j} - 1\}$. Одинаковые множества Φ_1^φ объединим в группы и для каждой из них определим сегменты входных переменных $X_1 = \{x_1 \dots x_{n_1}\}$, на которых они определены. В результате для всех групп получим совокупность λ_1 сегментов $\{S_1^i | i = \overline{0, \lambda_1 - 1}\}$ с границами $\{L_1^i, H_1^i | i = \overline{0, \lambda_1 - 1}\}$. Обозначим множество функций, определенных на сегменте S_1^i , как $\Phi_1^i = \{F_{jk}^i | j = \overline{1, s}, k \in \{0, 2^{m_j} - 1\}\}$

			Φ_1^0			$\Phi_1^{2^{n_1}-1}$	
Y_1	F_{10}	=	$\bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots \bar{x}_{n_1} F_{10}^0$	\vee	\dots	\vee	$x_1 x_2 \dots x_{n_1} F_{10}^{2^{n_1}-1}$
	\dots		\dots				\dots
Y_2	$F_{1(2^{m_1}-1)}$	=	$\bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots \bar{x}_{n_1} F_{1(2^{m_1}-1)}^0$	\vee	\dots	\vee	$x_1 x_2 \dots x_{n_1} F_{1(2^{m_1}-1)}^{2^{n_1}-1}$
	\dots		\dots				\dots
Y_2	F_{20}	=	$\bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots \bar{x}_{n_1} F_{20}^0$	\vee	\dots	\vee	$x_1 x_2 \dots x_{n_1} F_{20}^{2^{n_1}-1}$
	\dots		\dots				\dots
Y_s	$F_{2(2^{m_2}-1)}$	=	$\bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots \bar{x}_{n_1} F_{2(2^{m_2}-1)}^0$	\vee	\dots	\vee	$x_1 x_2 \dots x_{n_1} F_{2(2^{m_2}-1)}^{2^{n_1}-1}$
	\dots		\dots				\dots
Y_s	F_{s0}	=	$\bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots \bar{x}_{n_1} F_{s0}^0$	\vee	\dots	\vee	$x_1 x_2 \dots x_{n_1} F_{s0}^{2^{n_1}-1}$
	\dots		\dots				\dots
	$F_{s(2^{m_s}-1)}$	=	$\bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots \bar{x}_{n_1} F_{s(2^{m_s}-1)}^0$	\vee	\dots	\vee	$x_1 x_2 \dots x_{n_1} F_{s(2^{m_s}-1)}^{2^{n_1}-1}$
			S_1^0	\dots			$S_1^{\lambda_1-1}$

Рисунок 1 – Результаты разложения функций F_{jk} по переменным X_1

Построение S-графа начнем с создания подграфа ветвления по коду первого операнда \bar{X}_1 с использованием модели бинарного дерева, узлы которого соответствуют условным вершинам с признаками сравнения входного операнда \bar{X}_1 с границами $\{L_1^i, H_1^i\}$. Для этого упорядочим все сегменты $\{S_1^i\} | i = \overline{0, \lambda_1 - 1}$ в порядке возрастания их границ $\{L_1^i, H_1^i\} | i = \overline{0, \lambda_1 - 1}$ и разделим их на две подгруппы, выбрав одну из границ, например $L_1^{v_1}$. Для полностью сбалансированного бинарного дерева количество сегментов в подгруппах должно отличаться не более чем на единицу.

В подграфе в качестве начальной будем использовать условную вершину, помеченную оператором $\bar{X}_1 \geq L_1^{v_1}$ (оператор \geq выбран для определенности). Исходящим дугам этой вершины будут соответствовать две подгруппы сегментов: $\{S_1^i\} | \bar{X}_1 < L_1^{v_1}$ и $\{S_1^i\} | \bar{X}_1 \geq L_1^{v_1}$, на которых определены подмножества функций соответственно $\{F_{jk}^\varphi\} | \varphi = \overline{0, v_1 - 1}$ и $\{F_{jk}^\varphi\} | \varphi = \overline{v_1, \lambda_1 - 1}$. В выделенных подмножествах функций исключаем из дальнейшего рассмотрения функции F_{jk} , для которых справедливо $F_{jk}^\varphi = 0 | \varphi = \overline{0, v_1 - 1}$, $F_{jk}^\varphi = 0 | \varphi = \overline{v_1, \lambda_1 - 1}$. В том случае, когда в выделенном подмножестве для функций F_{jk} справедливо $F_{jk}^\varphi = 1 | \varphi = \overline{0, v_1 - 1}$, $F_{jk}^\varphi = 1 | \varphi = \overline{v_1, \lambda_1 - 1}$, к соответствующей исходящей дуге условной вершины подключаются последовательно операторные вершины $\bar{Y}_j = k$. Если для всех функций подмножества выполняется условие $F_{jk} = 1$ построение подграфа и S-графа на этом пути завершается операторной вершиной без исходящей дуги.

Каждую из подгрупп сегментов $\{S_1^i\} | \bar{X}_1 < L_1^{v_1}$ и $\{S_1^i\} | \bar{X}_1 \geq L_1^{v_1}$ и разбиваем на две подгруппы, границами между которыми являются $L_1^{v_2}, L_1^{v_3}$, где $L_1^0 < L_1^{v_2} < L_1^{v_1}, L_1^{v_1} < L_1^{v_3} < L_1^{\lambda_1 - 1}$ и к исходящим дугам начальной вершины подключаем условные вершины $\bar{X}_1 \geq L_1^{v_2}, \bar{X}_1 \geq L_1^{v_3}$. Выделяем подмножества сегментов S_1^i , соответствующие исходящим дугам подключённых условных вершин, и для определенных на них функций из $\{F_{jk}^\varphi\}$ выполним описанные выше действия для удаления функций, равных 0, и подключения операторных вершин для функций, равных 1. Построение подграфа ветвления по \bar{X}_1 заканчивается, когда на очередном шаге количество дуг подключенных условных вершин равно λ_1 и каждой дуге соответствует один из сегментов $\{S_1^i\} | i = \overline{0, \lambda_1 - 1}$.

Каждой исходящей дуге подграфа ветвления по \bar{X}_1 соответствует подмножество функций из $\{\Phi_1^\varphi\}$, зависящих от входных переменных из множества $\{x_{n_1+1}, \dots, x_n\}$. Построение S-графа продолжим подключением к исходящим дугам подграфа ветвления по \bar{X}_1 подграфов ветвления по \bar{X}_2 . Аналогично подключаются подграфы для остальных операндов \bar{X}_i .

Ниже приведен пример построения S-графа для СБФ, заданной на рис. 2. Входные переменные разобьём на два подмножества $X_1 = \{x_1, x_2\}, X_2 = \{x_3, x_4\}$, на которых определены входные операнды \bar{X}_1, \bar{X}_2 . Выходные операнды \bar{Y}_1, \bar{Y}_2 будем задавать на подмножествах выходных переменных $Y_1 = \{y_1, y_2, y_3\}, Y_2 = \{y_4, y_5\}$.

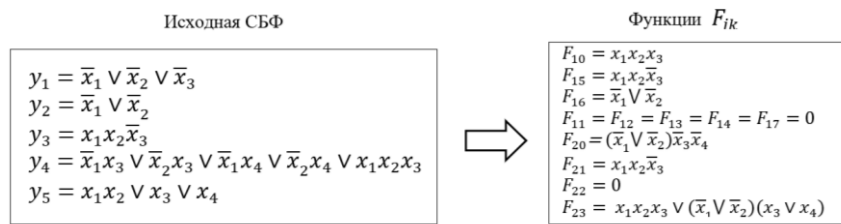


Рисунок 2 – Исходная СБФ и значения функций F_{jk}

После преобразования в соответствии с (7) получим набор функций $\{F_{jk}\}$ для вычисления значений выходных операндов (рис. 2). Функции $F_{jk} = 0$ исключаются и для оставшихся функций осуществляем разложение по переменным операнда \bar{X}_1 (рис. 3). Полученные функций Φ_1^φ разбиваем на две группы с одинаковыми функциями, соответствующие двум сегментам $S_1^0 | \bar{X}_1 < 3$ и $S_1^1 | \bar{X}_1 \geq 3$. Далее функции каждой из групп, не равные 0, разлагаем по переменным входного операнда \bar{X}_2 , выделяем одинаковые подмножества функций Φ_2^φ и определяем соответствующие им сегменты (рис. 3). На рис. 4 приведен S-граф для вычисления исходной СБФ.

		Φ_1^0	\equiv	Φ_1^1	\equiv	Φ_1^2	\equiv	Φ_1^3
Y_1	$F_{10} = \bar{x}_1\bar{x}_2$	0		\bar{x}_1x_2	0	$x_1\bar{x}_2$	0	x_1x_2
	$F_{15} = \bar{x}_1\bar{x}_2$	0		\bar{x}_1x_2	0	$x_1\bar{x}_2$	0	\bar{x}_3
	$F_{16} = \bar{x}_1\bar{x}_2$	1		\bar{x}_1x_2	1	$x_1\bar{x}_2$	1	0
Y_2	$F_{20} = \bar{x}_1\bar{x}_2$	$\bar{x}_3\bar{x}_4$		\bar{x}_1x_2	$\bar{x}_3\bar{x}_4$	$x_1\bar{x}_2$	$\bar{x}_3\bar{x}_4$	0
	$F_{21} = \bar{x}_1\bar{x}_2$	0		\bar{x}_1x_2	0	$x_1\bar{x}_2$	0	\bar{x}_3
	$F_{23} = \bar{x}_1\bar{x}_2$	$x_3 \vee x_4$		\bar{x}_1x_2	$x_3 \vee x_4$	$x_1\bar{x}_2$	$x_3 \vee x_4$	x_3

$F_{20} = \bar{x}_3\bar{x}_4$	1	\bar{x}_3x_4	0	$x_3\bar{x}_4$	0	x_3x_4	0
$F_{23} = \bar{x}_3\bar{x}_4$	0	\bar{x}_3x_4	1	$x_3\bar{x}_4$	1	x_3x_4	1

$\bar{x}_2 < 1$ $\bar{x}_2 \geq 1$

$F_{10} = \bar{x}_3\bar{x}_4$	0	\bar{x}_3x_4	0	$x_3\bar{x}_4$	1	x_3x_4	1
$F_{15} = \bar{x}_3\bar{x}_4$	1	\bar{x}_3x_4	1	$x_3\bar{x}_4$	0	x_3x_4	0
$F_{21} = \bar{x}_3\bar{x}_4$	1	\bar{x}_3x_4	1	$x_3\bar{x}_4$	0	x_3x_4	0
$F_{23} = \bar{x}_3\bar{x}_4$	0	\bar{x}_3x_4	0	$x_3\bar{x}_4$	1	x_3x_4	1

$\bar{x}_2 < 2$ $\bar{x}_2 \geq 2$

Рисунок 3 – Пояснения к построению S-графа в примере

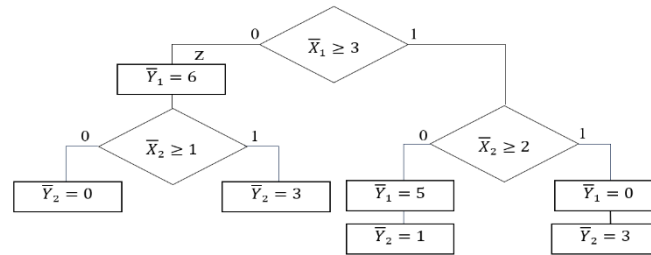


Рисунок 4 – S-граф примера

Литература

1. Кузнецов О. П. О программной реализации логических функций и автоматов. — Автоматика и телемеханика, 1977, № 7, с. 163–174.
2. Окольнішнікова Е. А. О сложности ветвящихся программ. Математические вопросы кибернетики. Вып. 10. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. — с. 69–82.
3. Шамров М.И. Формализованный подход к программной реализации алгоритмов логического управления. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. Сборник трудов XX Международной научно-практической конференции. Москва, 2023. с. 187–191.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ФАКТОРА СТАРЕНИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ РЕЗИСТОРА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Долматов А.В., Фам Суан Хань, Во Т.Х., Увайсов Р.М.
РТУ – МИРЭА
+7 (999) 825 22 30, phamxuanhanh161@gmail.com

В условиях очень быстрого развития науки и техники возрастающая потребность в повышении качества и надежности прецизионных резисторов становится все более актуальной. Особенно в отраслях, где требуется практически абсолютная высокая точность электронных устройств в целом и резисторов в частности, используемых в медицине, военной и аэрокосмической промышленности, где требуется точность и стабильность на протяжении всего срока эксплуатации, который может составлять от 10 до 15 лет, и в течение этого времени резисторы невозможно заменить или отрегулировать.

Поэтому одна из огромных проблем, стоящих сегодня, заключается в том, как с высокой точностью спрогнозировать надежность резисторов с течением времени, когда они будут установлены на печатной плате и начнут работать в реальных условиях. В данной статье представлен анализ влияния температуры и старения на сопротивление резистора при ускоренных испытаниях. В статье заложены основы моделирования в направлении виртуализации ускоренных климатических испытаний резисторов.

Ключевые слова: температура, старение, сопротивление резистора, ускоренные испытания.

Analysis of the influence of temperature and aging factor on the resistance of a resistor during accelerated tests. Dolmatov A.V., Pham Xuan Hanh, Vo T.H. RTU – MIREA.

In the context of very rapid development of science and technology, the growing need to improve the quality and reliability of precision resistors is becoming increasingly important. Especially in industries that

require almost absolute high precision of electronic devices in general and resistors in particular, used in medicine, military and aerospace industries, where accuracy, precision and stability are required throughout the entire service life, which can be from 10 to 15 years, and during this time, resistors cannot be replaced or adjusted. Therefore, one of the huge problems facing today is how to accurately predict the reliability of resistors over time when they are installed on a printed circuit board and begin to work in real conditions. This article presents an analysis of the effect of temperature and aging on the resistance of a resistor during operation, as well as during accelerated tests. The article lays the foundations for modeling in the direction of virtualization of accelerated climatic tests of resistors.

Keywords: temperature, aging, resistor resistance, accelerated tests.

Введение

1. Качество резистора и изменение его сопротивления

Резисторы являются элементами РЭС и могут применяться как дискретные компоненты или как составные части интегральных микросхем. Они предназначены для перераспределения и регулирования электрической энергии между элементами схемы. Принцип действия резисторов основан на использовании свойства материалов оказывать сопротивление протекающему через них электрическому току. Особенностью резисторов является то, что электрическая энергия в них превращается в тепло, которое рассеивается в окружающую среду.

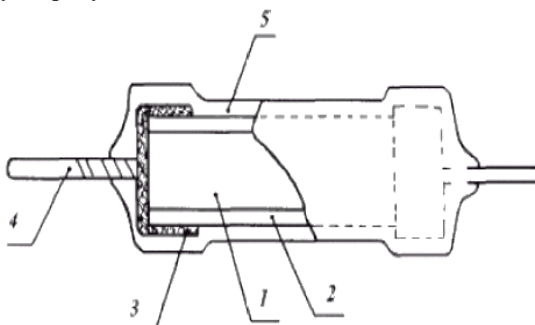


Рисунок 1 – Базовая структура тонкопленочного резистора: 1 - цилиндрическое диэлектрическое основание; 2 - резистивная пленка; 3 - контактные колпачки (из проводящего материала); 4 - электрический проводник; 5 - защитная пленка.

Основным элементом конструкции постоянного резистора является резистивный элемент, который может быть либо пленочным, либо объемным. Величина объемного сопротивления материала определяется количеством свободных носителей заряда в материале, температурой, напряженностью поля и т.д. и определяется известным соотношением:

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1)$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление материала,

l - длина резистивного слоя,

s - площадь поперечного сечения резистивного слоя.

Качество резисторов определяется по следующим критериям:

- начальный допуск резистора;
- устойчивость к изменениям окружающей среды;
- изменение сопротивления в процессе использования.

Начальный допуск резистора – допустимая погрешность между фактическим значением резистора и номинальным значением резистора, когда он покидает завод-изготовитель. Например, если резистор имеет номинальное значение 1000 Ом и начальный допуск $\pm 1\%$, фактическое значение резистора может находиться в диапазоне от 990 Ом до 1010 Ом.

Устойчивость к изменениям окружающей среды – это способность восстанавливать исходное значение сопротивления резистора после воздействия факторов окружающей среды.

Факторы, вызывающие временное изменение значения сопротивления резистора, можно перечислить как:

- *Изменение температуры в рабочем температурном диапазоне резистора* – определяется температурным коэффициентом сопротивления (ТКС):

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) характеризует относительное изменение сопротивления при изменении температуры. ТКС представляется формулой (2):

$$ТКС = \frac{\Delta R}{R_0 \Delta T} \quad (2)$$

где ΔR – отклонение сопротивления;

R_0 – начальное значение сопротивления;

Δt – изменение температуры относительно нормального значения температуры.

У различных резисторов эта величина лежит в пределах $\pm (7-12) \cdot 10^{-4} 1/^\circ\text{C}$.

- *Электрическое поле и магнитная индукция;*

- *Механические воздействия.*

При прекращении этих воздействий, после периода стабилизации, сопротивление резисторов вернется к прежнему значению.

Например, когда температура окружающей среды изменяется в пределах температурного диапазона резистора, значение резистора может измениться, но вернется к исходному уровню, когда температура вернется в норму.

Изменение сопротивления в процессе эксплуатации – это постоянное изменение значения сопротивления резистора, которое происходит во время использования. Эти изменения могут быть вызваны:

- Физико-химическими реакциями в металлах или в изоляционных материалах (процесс старения резисторов происходит под воздействием длительных периодов времени);

- Из-за изменения механических напряжений в резисторе.

Это изменение значения сопротивления не может быть возвращено к исходному значению и обычно определяется в процентах или частях на миллион (ppm), чтобы определить степень изменения значения сопротивления резистора с течением времени по сравнению с начальным значением сопротивления.

Постоянное изменение значения сопротивления резистора, или разности сопротивления ΔR , определяется изменением значения сопротивления текущего значения сопротивления по сравнению с исходным значением сопротивления:

$$\Delta R = \frac{R_t - R_0}{R_0} \quad (3)$$

где ΔR – отклонение сопротивления;

R_0 – номинальное значение сопротивления;

R_t – значение сопротивления в момент времени t .

Коэффициент старения β_R характеризует изменение сопротивления, которое вызывается структурными изменениями резистивного элемента за счет процессов окисления, кристаллизации и т.д. Коэффициент старения β_R представляется формулой (4):

$$\beta_R = \frac{\Delta R}{R_0 \Delta t} \quad (4)$$

Δt — это определенный период времени, обычно 1000 или 10 000 часов в зависимости от требований.

2. Метод испытания и закон Аррениуса

Представленный в этой статье метод оценки постоянного изменения значения сопротивления резистора при различных испытательных температурах основан на ускоренных испытаниях на долговечность под нагрузкой и математических уравнениях, полученных на основе закона Аррениуса.

а. Метод испытаний на безотказность при номинальной нагрузке

Метод ускоренного испытания на безотказность заключается в том, что резисторы подвергаются испытаниям при номинальной мощности при высоких температурах окружающей среды в течение периода, обычно составляющего 1000 часов. Для получения точной оценки отклонения сопротивления будем рассматривать процесс нагрева резистора за счет изменения температуры окружающей среды и эффект Джоуля [2] – эффект саморазогрева резистора при работе.

По закону Ома [3]:

$$V = R \times I \quad (5)$$

Напряжение на резистивном устройстве пропорционально току, протекающему через него, а значение сопротивления резистора считается постоянным.

Однако в течение срока службы резисторы разных типов показывают разную степень разности от первоначального номинала.

Самонагрев резистора выражается через закон Джоуля следующим образом: мощность источника тепла, создаваемого проводником, пропорциональна его сопротивлению и квадрату тока, проходящего через него [2]:

$$P = R \times I^2 \quad (6)$$

где I – ток, текущий через резистор (А);

R – значение полного сопротивления резистора (Ω).

В это время температура резистора рассчитывается путем сложения повышения температуры из-за самонагрева резистора с температурой окружающей среды.

б. Уравнение Аррениуса

Закон Аррениуса определяет скорость отдельной химической реакции как функцию ее температуры по Кельвину.

Формула Аррениуса [1]:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (7)$$

где: k – скорости реакции;

A – константа, представляющая минимальную скорость реакции, когда температура почти равна 0;

E_a – энергия активации, представляющая собой энергию, необходимую для начала реакции;

R – постоянная идеального газа (8.314 Дж/моль·К или $8.617 \cdot 10^{-5}$ эВ/(моль·К));

T – линейная температура (единица измерения: К).

Энергия активации (E_a) и предэкспоненциальный коэффициент (A) являются двумя важными параметрами этого закона, на факте которые используются только для расчета и оценки и фактически не известны и не рассчитываются точно. Эти значения в основном рассчитаны на основе результатов, полученных в ходе экспериментов, и являются информацией, которая относится к коммерческой тайне компаний-производителей резисторов.

Применяя уравнение закона Аррениуса для расчета относительного отклонения сопротивления ($\Delta R/R$) выполняются следующие расчеты:

$$\frac{\Delta R}{R} = A_1 \exp\left(-\frac{E_{1a}}{RT}\right) \quad (8)$$

в котором A_1 и E_{1a} являются константами, представляющая соответственно, минимальную скорость реакции, когда температура почти равна 0 и энергии активации – энергию, необходимую для начала реакции, было скорректировано в соответствии с контекстом резистора.

Возьмите натуральный логарифм обеих частей:

$$\ln\left(\frac{\Delta R}{R}\right) = \ln(A_1) - \frac{E_{1a}}{RT} \quad (9)$$

Формула (9) возвращает уравнение к линейной форме между $\ln\left(\frac{\Delta R}{R}\right)$ и $\frac{1}{T}$ при $m = -\frac{E_{1a}}{R}$ и

$c = \ln(A_1)$, $x = \frac{1}{T}$, на данный момент формы линейного уравнения:

$$y = mx + c \quad (10)$$

В этот момент уравнение имеет вид уравнения прямой.

где y – значение $\ln\left(\frac{\Delta R}{R}\right)$;

x – значение $\frac{1}{T}$;

m – наклон линейной линии;

c – коэффициент пересечения линейной линии с Ox осью.

График Аррениуса получается путем построения логарифма константы разности сопротивления в зависимости от обратной температуры $\frac{1}{T}$. Полученная линия с отрицательным наклоном полезна при поиске недостающих компонентов уравнения Аррениуса. Экстраполяция линии обратно на точку пересечения оси y дает значение $\ln(A_1)$. Наклон линии равен отрицательной энергии активации, разделенной на газовую постоянную R . Пример логарифмической зависимости константы разности сопротивления от обратной температуры для тонкопленочного резистора CrNi в течение 1000 часов представлен на рис 2.

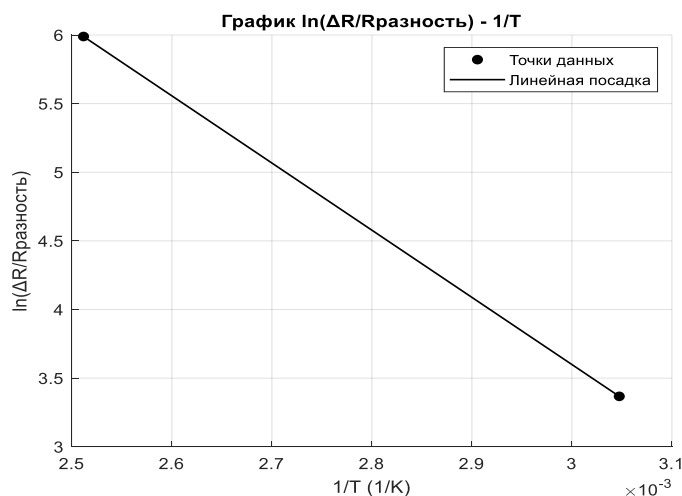


Рисунок 2 – Логарифмическая зависимость константы разности сопротивления от обратной температуры для тонкопленочного резистора CrNi в течение 1000 часов.

- Коэффициент наклона линейной линии (m): -4893,261;
 - Коэффициент пересечения линейной линии с вертикальной осью (c): 18,279;
- Отсюда можно рассчитать:
- Константу предэкспоненциального коэффициента (A): 86785938,2378,
 - Энергию активации (Ea): 0,4217 эВ.

Заключение

Представленное исследование обеспечивает подход к анализу влияния температуры и старения резисторов во время ускоренных испытаний. Кроме того, в исследовании также представлен метод определения разности сопротивления резистора производятся по разным технологиям на основе уравнения Аррениуса [1]. Расширяя содержание этой статьи, в будущем можно представить метод оценки отклонения сопротивления на протяжении всего жизненного цикла, а также оценки отклонения сопротивления в любой момент времени в соответствии с техническими требованиями. Этот результат является важной основой для реализации метода ускоренного климатического испытания РЭС.

Литература

1. <https://www.eesemi.com/activation-energy.htm>
2. Закон Джоуля — Ленца. <https://ru.wikipedia.org>
3. Закон на Ом. <https://ru.wikipedia.org>

МЕХАНИЗМЫ ГЕНЕРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ МЕТОДЕ ИМИТАЦИИ ОТЖИГА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТОВ В ЛИНЕЙНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМАХ

Нгуен Дык Хай, Увайсов С.У, Черноверская В.В, Во Тхе Хай, Фам Суан Хань
МИРЭА – Российский технологический университет
+7 915 998 75 04, duchai09011997@gmail.com

В последние годы большой интерес вызывает использование методов оптимизации для решения практических задач, особенно задач комбинаторной оптимизации. Задачи непрерывной оптимизации также очень эффективно решаются алгоритмами поиска глобальных экстремумов. Алгоритм имитации отжига— это алгоритм оптимизации, используемый для решения задач комбинаторной оптимизации и непрерывной оптимизации. Этот алгоритм оказался очень эффективным и простым в применении по сравнению с другими алгоритмами, поэтому его используют многие исследователи. С момента создания этого алгоритма было проведено много исследований по его использованию для задач оптимизации, но наши исследования направлены на применение этого алгоритма для решения задачи диагностики неисправностей в линейных радиоэлектронных схемах. Чтобы успешно применить этот алгоритм, нам нужно точно и логично определить множество параметров, чтобы алгоритм работал эффективно. Механизм случайной генерации соседних решений является одним из параметров, которые нам необходимо определить для успешного применения алгоритма. Для каждой задачи будут разные механизмы случайной генерации соседних решений, потому что когда один механизм хорошо работает для одной задачи, для другой механизм может не дать хороших результатов. В данной работе мы представляем четыре механизма генерации случайных соседних решений алгоритма имитации отжига. Мы проверим, хорошо ли работают эти механизмы генерации соседних решений в сочетании с гипотезой Ли и дают ли они хорошие результаты.

Ключевые слова: Метод имитации отжига, линейная радиоэлектронная схема, дефектный компонент, механизм генерации соседних решений, локальный минимум, оптимальное локальное решение.

Mechanisms for generating random solutions using the simulated annealing method for diagnosing defects in linear electronic circuits. Nguyen Duc Hai, Uvaysov S.U., Chernoverskaya V.V., Vo The Hai, Pham Xuan Hanh. MIREA – Russian Technological University.

In recent years, there has been much interest in using optimization methods to solve practical problems, especially combinatorial optimization problems. Continuous optimization problems are also very effectively solved by global extremum search algorithms. Metallurgical modeling algorithm is an optimization algorithm used to solve combinatorial optimization problems and continuous optimization problems. This algorithm has proven to be very effective and easy to apply compared to other algorithms, so it is used by many researchers. Since the creation of this algorithm, many studies have been conducted on its use for optimization problems, but our research is focused on applying this algorithm to solve the problem of fault diagnosis in linear electronic radio circuits. In

order to successfully apply this algorithm, we need to accurately and logically define many parameters so that the algorithm works effectively. The random neighboring solution generation mechanism is one of the parameters that we need to define for the successful application of the algorithm. For each problem, there will be different random neighboring solution generation methods because when one mechanism works well for one problem, the mechanism may not give good results for another problem. In this paper, we present 4 random neighboring solution generation mechanisms of metallurgical modeling algorithms. We will test whether these proximity solution generation mechanisms work well in combination with Lee's hypothesis and whether they produce good results.

Ключевые слова: Simulated annealing method, linear electronic circuit, defective component, mechanism for generating neighboring solutions, local minimum, optimal local solution.

Введение

Алгоритм имитации отжига создан на основе метода отжига металлов в физике. Когда металл подвергается термическому отжигу, температура металла резко повышается, а затем постепенно снижается до температуры, при которой атомы металла несут наименьшую энергию, металл будет иметь наибольшую прочность. Состояние, при котором атомы металла несут наименьшую энергию, называется оптимальным состоянием процесса теплового отжига металла. Алгоритм имитации отжига создается из процесса физического отжига металла путем замены суммы энергии атомов целевой функцией, а состояние атомов заменяется решением задачи.

Алгоритм очень эффективен при решении задач оптимизации, но для задачи диагностики дефектов в линейных радиоэлектронных схемах нам необходимо объединить его с гипотезой Ли, чтобы дать результаты диагностики. Основная задача данной работы состоит в том, чтобы представить четыре механизма генерации соседних решений и проверить, гарантируют ли они алгоритм сходимости к глобальному оптимальному решению.

Постановка проблемы

Линейные радиоэлектронные схемы — это схемы, в которых используются только линейные компоненты, такие как резисторы, катушки индуктивности и конденсаторы. Эти компоненты являются линейными, и когда через них протекает переменный ток, все они имеют сопротивление. Поэтому мы вводим электрическую схему, состоящую только из резисторов, в качестве представления линейных радиоэлектронных цепей. Эта схема состоит из трех резисторов, значения которых, соответственно, равны $R_1 = 300 \text{ Ом}$, $R_2 = 700 \text{ Ом}$, $R_3 = 300 \text{ Ом}$. Схема моделируется в среде Multisim, как показано на рисунке 1.

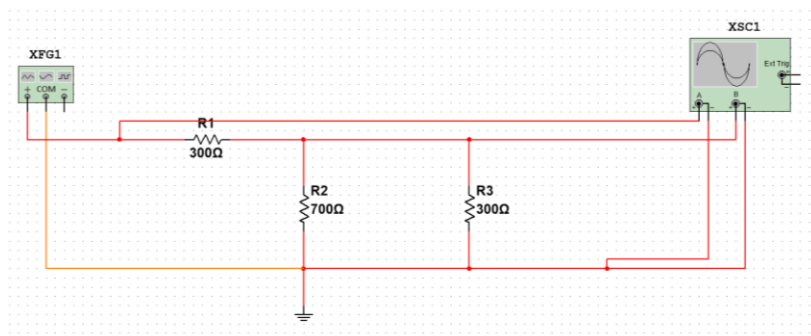


Рисунок 1 – Модель схемы в среде Multisim

Для успешного применения алгоритма нам необходимо правильно определить следующие параметры.

Начальная температура зависит от четырех механизмов генерации соседних решений, которые мы представим ниже. Конечная температура считается условием остановки алгоритма, которое определяется экспериментально $T_f = 10^{-20}$. Длина цепи Маркова — это количество соседних решений, порожденных из текущего решения, согласно эксперименту мы выбираем $L = 100$. Схема понижения температуры после каждой цепи Маркова по следующей формуле $T(k+1) = \alpha T(k)$, $\alpha \in (0.77, 0.99)$. Целевая функция определяется нами:

$$F(x) = \sum_{t=0}^T \Delta_t = \sum_{t=0}^T |U_{\text{вы, расч}}(x) - U_{\text{вы, ошиб}}| \quad (1)$$

В качестве первоначального решения мы выбрали то, при котором компоненты линейной радиоэлектронной схемы имеют номинальное значение.

Далее мы рассмотрим каждый механизм генерации соседних решений и его эффективность в решении диагностической задачи.

1. Механизм вращения

$$x_c = x_{\text{луч.тек.}} + \alpha \frac{1}{n \|x_{\text{луч.тек.}}\|_2} x_{\text{луч.тек.}} R_r \quad (2)$$

На рисунке выше 2 моделируются 100 соседних решений лучшего текущего решения в двумерном пространстве в случае, если $n=2$ означает, что целевая функция имеет 2 переменные.

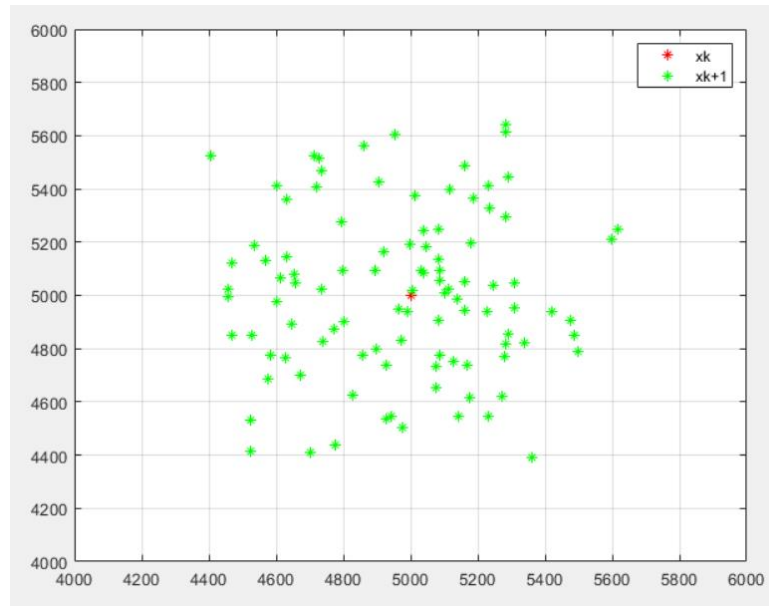


Рисунок 2 – Соседние решения в двумерном пространстве в случае $n=2$

С помощью механизма вращения мы можем рассчитать начальную температуру $T_0 = 70$

С помощью механизма вращения в сочетании с гипотезой Ли мы получаем оптимальное решение алгоритма. Алгоритм сходится к глобальной точке оптимизации (рисунок 3). Неисправный компонент есть R_1 , значение его параметра 100 Ом.

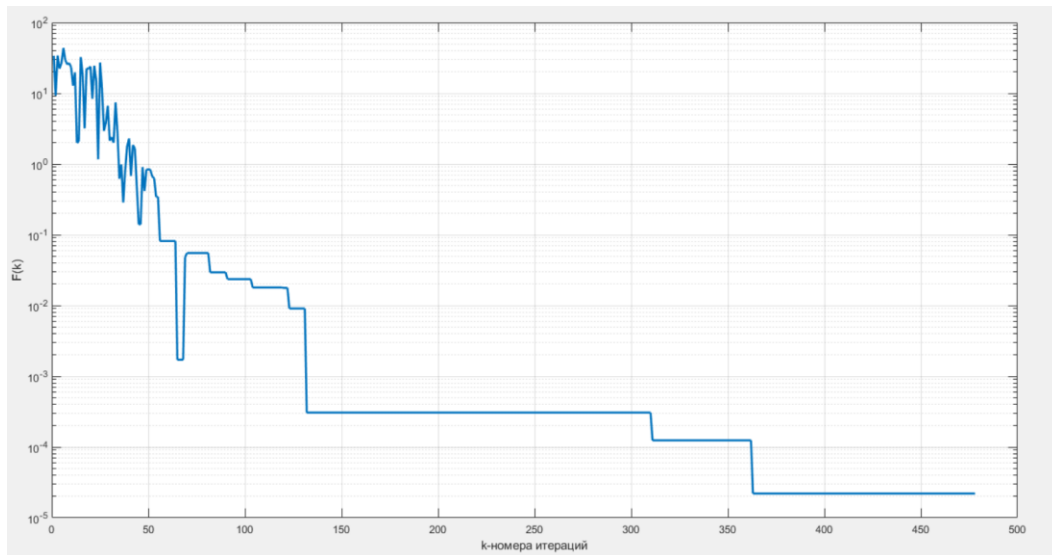


Рисунок 3 – Процесс сходимости целевой функции

2. Механизм смещения

$$x_c = x_{\text{луч.тек.}} + \beta \frac{1}{n \|x_{\text{луч.тек.}} - x_{\text{луч.прош.}}\|_2} (x_{\text{луч.тек.}} - x_{\text{луч.прош.}}) R_t \quad (3)$$

На рисунке 4 моделируются 100 соседних решений лучшего текущего решения в двумерном пространстве в случае, если $n=2$ означает, что целевая функция имеет 2 переменные.

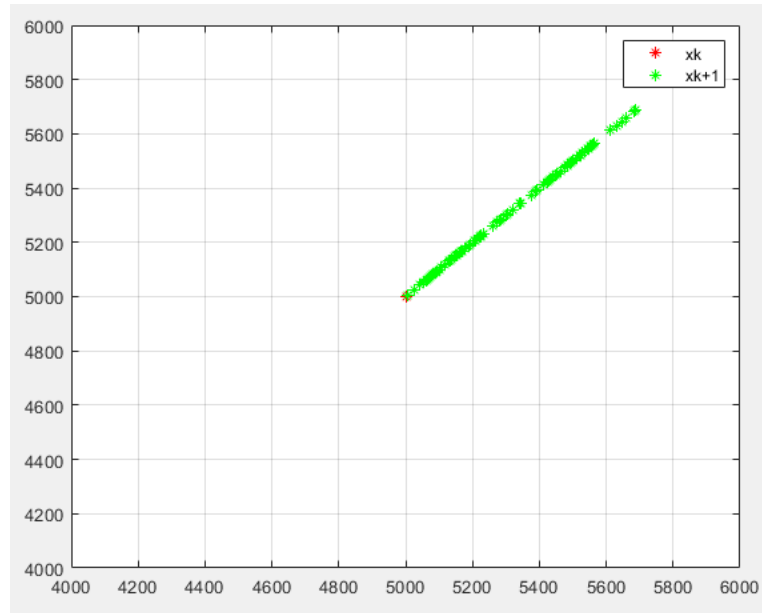


Рисунок 4 – Соседние решения в двумерном пространстве в случае n=2

С помощью механизма смещения мы рассчитываем начальную температуру как $T_0 = 514$. При использовании механизма смещения в сочетании с гипотезой Ли целевая функция не сходится к глобальному минимуму, а алгоритм не сходится к глобальной точке оптимизации.

3. Механизм расширения.

$$x_c = x_{\text{луч.тек.}} + \gamma x_{\text{луч.тек.}} R_e \quad (4)$$

На рисунке 5 моделируются 100 соседних решений лучшего текущего решения в двумерном пространстве в случае, если n=2 означает, что целевая функция имеет 2 переменные.

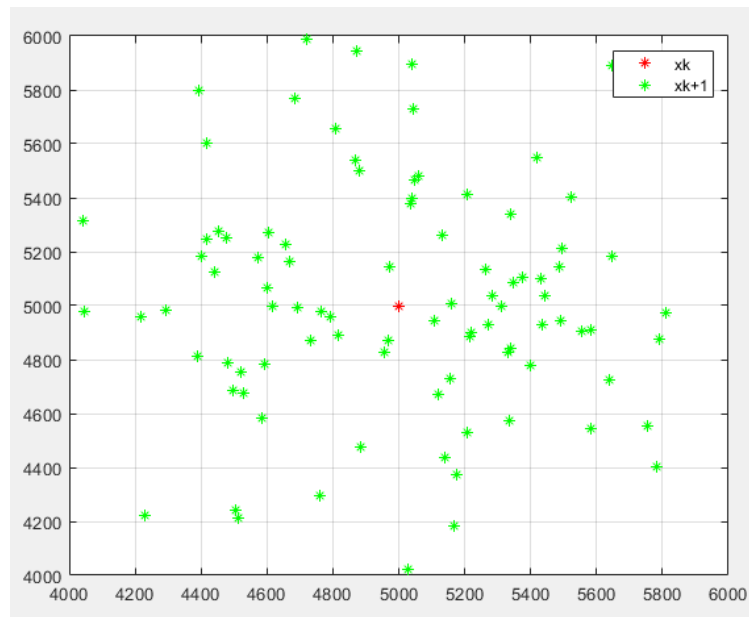


Рисунок 5 – Соседние решения в двумерном пространстве в случае n=2

С помощью механизма расширения мы вычисляем начальную температуру как $T_0 = 171$

С помощью механизма расширения в сочетании с гипотезой Ли мы получаем два случая. Первый случай — экстремальное значение целевой функции $F_{min} = 1.089 \times 10^{-5}$, а дефект $R_1 = 100$ Ом. Это показано на рисунке 6.

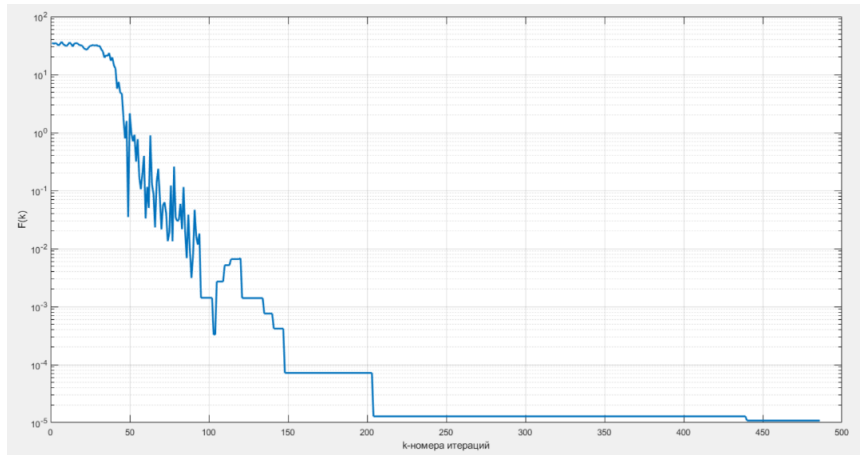


Рисунок 6 – Процесс сходимости целевой функции

Второй случай — экстремальное значение целевой функции $F_{min} = 26.6086$ а дефект $R_2=1400$ Ом. Это показано на рисунке 7.

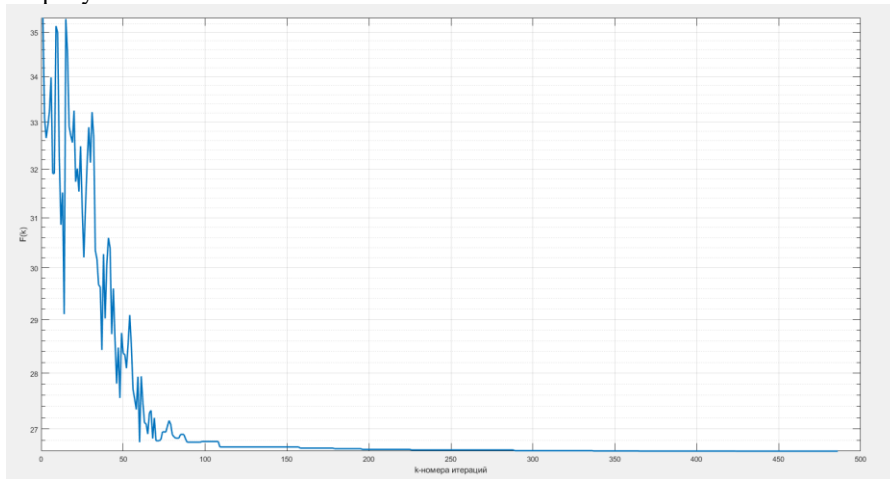


Рисунок 7 – Процесс сходимости целевой функции

На основании приведенных выше двух случаев мы делаем вывод, что неисправный компонент $R_1 = 100$ Ом

4. Механизм оси

$$x_c = x_{луч.тек.} + \delta x_{луч.тек.} R_a \quad (5)$$

На рисунке 8 изображено 100 соседних решений лучшего текущего решения в двумерном пространстве в случае, если $n=2$ означает, что целевая функция имеет 2 переменные.

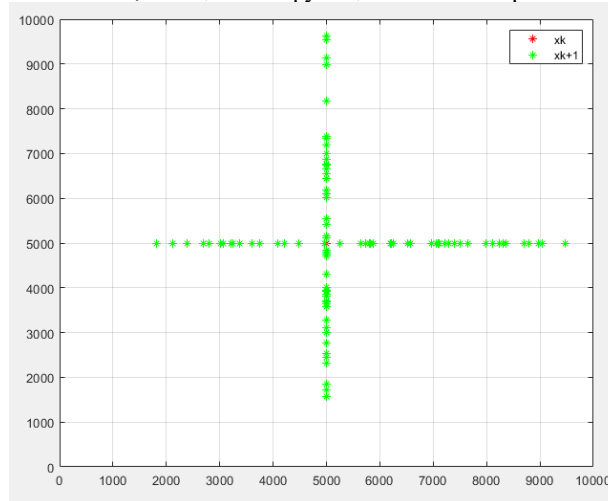


Рисунок 8 – Соседние решения в двумерном пространстве в случае $n=2$

С помощью механизма оси мы рассчитываем начальную температуру $T_0 = 1438$

При использовании механизма оси в сочетании с гипотезой Ли целевая функция не сходится к глобальному минимуму, а алгоритм не сходится к глобальному оптимальному решению. Функция сходится к значению $F = 18.8$. Это не глобальный экстремум целевой функции. Процесс сходимости целевой функции показан на рисунке 9.

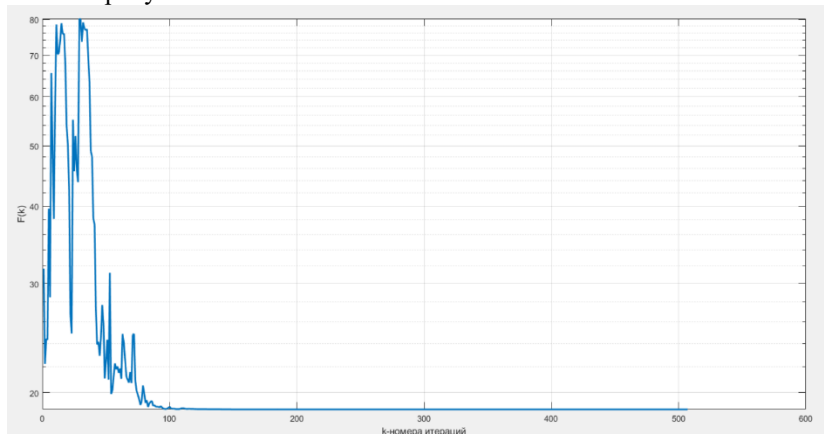


Рисунок 9 – Процесс сходимости целевой функции

Заключение

В этой статье мы представили и рассмотрели работу четырех механизмов генерации соседних решений. Эти четыре механизма объединены с гипотезой Ли для решения задачи диагностики неисправностей в линейных радиоэлектронных схемах. Мы обнаружили, что в сочетании с гипотезой Ли для решения проблемы диагностики неисправностей только два из четырех механизмов работают хорошо и дают результаты диагностики неисправностей. Это доказывает, что при решении задачи диагностики дефектов нам необходимо полагаться на экспериментальный процесс, чтобы иметь возможность найти механизмы генерации соседних решений, обеспечивающих успешное решение проблемы.

Благодарности

Работа проведена в рамках научного проекта (№111111), выполненного при поддержке Программы «ННН» в 2015 г.

Литература

1. Поляк, В.Т. Введение в оптимизацию / В.Т. Поляк. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. - 384 с.
2. Kirkpatrick, S. Optimization by Simulated Annealing / S. Kirkpatrick, C.D. Gelatt Jr, M.P. Vecchi // Science. - 1983. - Vol. 220 (4598). - p. 671-680.
3. Устинов, С.М. Вычислительная математика / С.М. Устинов, В.А. Зимницкий. - СПб.: БХВ Петербург, 2009. - 336 с.
4. Gendreau, M. Handbook of Metaheuristics (International Series in Operations Research and Management Science) / M. Gendreau, J.-Y. Potvin. - Springer, 2010. - 675 p.
5. Ларионов, В.Н. Применение современных методов оптимизации для определения параметров математических моделей электроустановок / В.Н. Ларионов, Е.А. Акиншин // Ползуновский вестник. - 2002. - № 1. - с. 17-20.
6. Chen, S.-M. Solving the traveling salesman problem based on the genetic simulated annealing ant colony system with particle swarm optimization techniques / S.-M. Chen, C.-Y. Chien // Expert Systems with Applications. - 2011. - Vol. 38. - p. 14439-14450.
7. Bertsimas, D. Simulated Annealing / D. Bertsimas, J. Tsitsiklis // Statistical Science. - Vol. 8, № 1. - p. 10-15
8. Tsallis, C. Generalized simulated annealing / C. Tsallis, D.A. Stariolo // Physica A. - 1996. - № 233. - p. 395-406.

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В
КОНСТРУКЦИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ

Во Т. Х., Нгуен Д. Х., Фам С. Х.

МИРЭА - Российский технологический университет

+7 (968) 9339 808, thehai.ttrd@gmail.com

Непрерывное развитие технологии 4.0 привело к повышению требований к степени автоматизации и скорости выполнения любой задачи. В частности, повышение эффективности метода диагностики для обнаружения дефектов в конструкциях радиоэлектронных блоков является одной из целей, которая интересует многих исследователей.

С целью повышения эффективности диагностики дефектов в конструкциях радиоэлектронных блоков необходимо внедрение автоматизированной системы диагностики в виде программного обеспечения. Она представляет собой структуру интегрированной программы, обеспечивающую мониторинг, последовательную реализацию проводимых этапов по определению технического состояния электронного устройства путем анализа механических свойств его конструктивных частей в блоке электронного устройства. Для того, чтобы сделать это быстро, точно и надежно, необходимо провести исследование и разработать комплекс программы, в котором некоторые шаги должны выполняться автоматически на основе встроеного алгоритма [2,3].

Ключевые слова: моделирования, диагностирование, архитектура программного комплекса, радиоэлектронный блок

Architecture of software complex for detecting defects in radio electronic component structures. Vo T. H., Nguyen D. H., Pham X. H., MIREA – Russian technological university.

The continuous development of technology 4.0 has led to increased demands for the level of automation and the speed of task execution. In particular, improving the efficiency of diagnostic methods for detecting defects in electronic component structures is one of the goals that interests many researchers.

To enhance the effectiveness of defect diagnostics in electronic component structures, it is necessary to implement an automated diagnostic system in the form of software. This system represents an integrated program structure that ensures monitoring and the sequential execution of steps to determine the technical condition of the electronic device by analyzing the mechanical properties of its structural parts within the electronic device block. To accomplish this quickly, accurately, and reliably, it is essential to conduct research and develop a comprehensive program where certain steps should be performed automatically based on an embedded algorithm.

Keywords: modeling, diagnostics, architecture of the software complex, radio electronic component.

I. Принципы построения комплекс программы диагностики и выявления дефектов в конструкциях радиоэлектронных блоков

На основе анализа и изучения параметров механических свойств блоков радиоэлектронных блоков на последнем этапе принимается окончательное решение об их техническом состоянии [1]. Автор предлагает разработать комплекс диагностической программы, представляющую собой комбинацию множества различных программ, связанных и дополняющих друг друга, для выполнения автоматизированной и эффективной реализации. В частности, при построении системы необходимо обращать внимание на ряд специфических принципов, таких как:

- Принцип модульности, т.е. автоматизированная система должна быть представлена в виде программного комплекса с модульной структурой [5], который включает в себя все необходимые функции, с одной стороны, которые являются функциональными, а с другой стороны, позволяют интегрировать дополнительные модули расширения без влияния на производительность системы;

- Принцип открытия, согласно которым система может использовать новые расчетные инструменты и новые появляющиеся в технической диагностике методы анализа для улучшения своих возможностей по эффективному решению поставленной задачи [4];

- Принципы развития, то есть система должна быть разработана с учетом существующих достижений в области информационных технологий, специализированного программного обеспечения и способна работать на современных аппаратных платформах, программных обеспечениях (CAD SolidWorks, ОС Windows (версия 7,8,10), язык программирования Python).

Кроме того, в структуре комплекса программы автоматизированной диагностики также учтен ряд факторов, а именно:

- Обеспечение согласованности входных параметров процесса моделирования и экспериментирования (импульсные параметры, физические характеристики радиоэлектронных блоков, координаты установки датчиков);

- Интеграция значений при физических испытаниях и моделировании;

- Специализированное программное обеспечение, позволяющее моделировать все технические состояния устройства (в том числе в неисправном состоянии или нет);
- Возможность обработки результатов моделирования;
- Сбор, хранение и обработка данных, накопленных в вычислительных экспериментах, в том числе возможность дополнения и обновления таких данных;
- Создание список типичных дефектов радиоэлектронных блоков;
- Наглядное описание полученных результатов в виде графиков или таблиц справочных значений, облегчающих процесс визуального распознавания и сравнения или набора средств расчета;
- Отображение информации о техническом состоянии диагностируемого объекта (по результатам сравнения с образцом, определения места и вида дефекта радиоэлектронных блоков).

Алгоритм проведения процесса диагностики и обнаружения дефектов в конструкциях радиоэлектронных блоков, представлен на рисунке ниже.

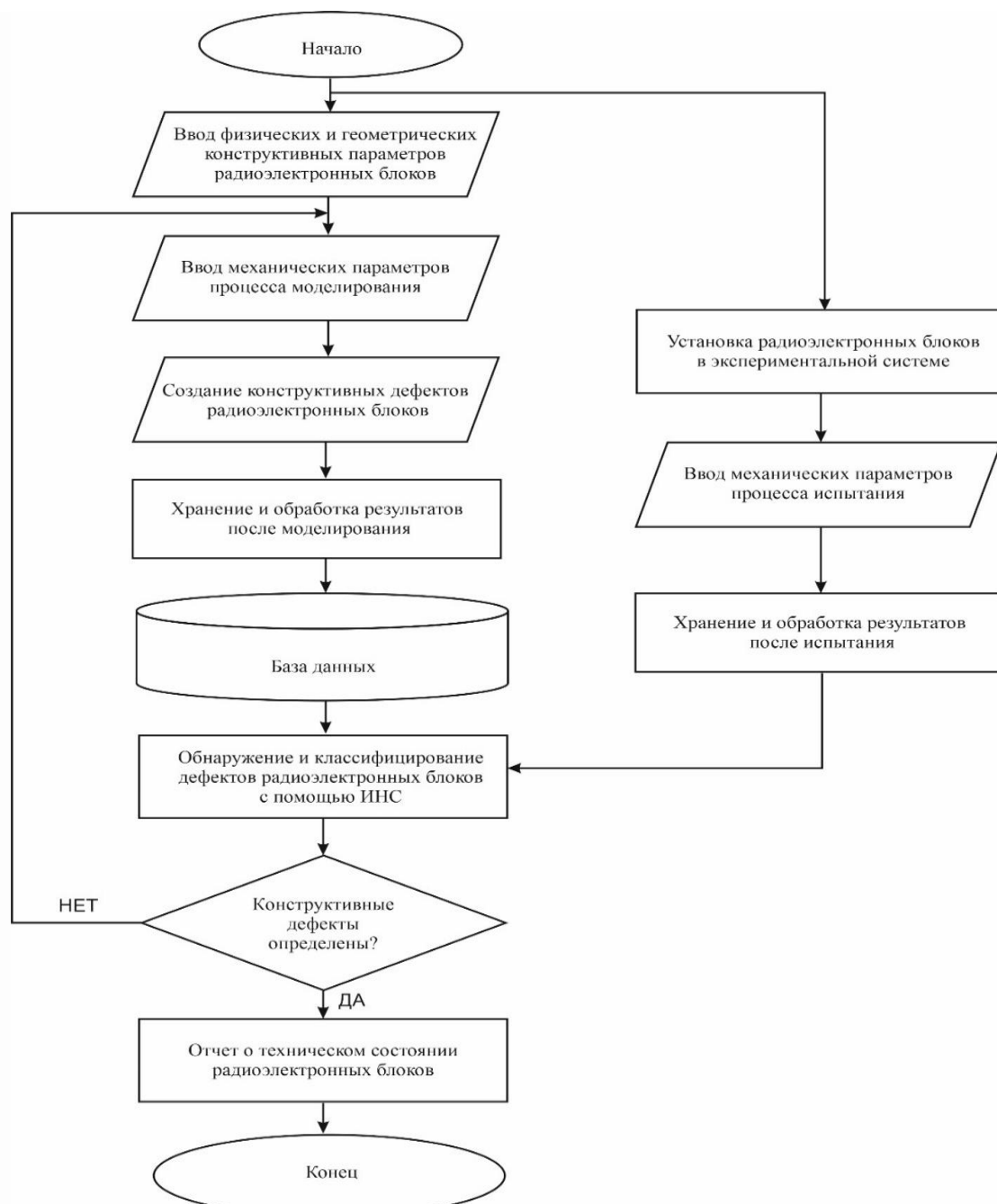


Рисунок 1 – Алгоритм описывающий процесс диагностики и обнаружения дефектов в конструкциях радиоэлектронных блоков

II. Архитектура программного комплекса для обнаружения дефектов в конструкциях радиоэлектронных блоков

Система диагностики и обнаружения дефектов в конструкциях радиоэлектронных блоков представляет собой совокупность множества интегрированных друг с другом программ с целью дополнения и решения различных этапов в системе автоматического диагностирования.

Каждый модуль берет на себя отдельную роль по обеспечению процесса приема и обработки информации в общем информационном пространстве системы [7]. Структурная схема программного комплекса диагностики и обнаружения дефектов в конструкциях радиоэлектронных блоков состоит из 5 функциональных модулей: SolidWorks, MS Excel, Python, Matlab и специального системного модуля, используемого для проведения экспериментов по механическим воздействиям (рис. 2). Система состоит из модулей со следующими функциями:

- Создание механического моделирования радиоэлектронных блоков, моделирование распространенных неисправных конструктивных технических состояний [8], определение значений параметров механического воздействия и отклик результатов для дальнейшей обработки (модуль SolidWorks);
- Формирование базы данных неисправностей исследуемого объекта с учетом допуска погрешностей элементов благодаря методу моделирования Монте-Карло (модуль Excel);
- Использование языка программирования в среде Matlab, который преобразует временно-амплитудные характеристики в амплитудно-частотных характеристик (модуль Matlab);
- Анализ и сравнение экспериментальных результатов с базой данных при моделировании объекта исследования для обнаружения конструктивных дефектов и принятия окончательного решения о его техническом состоянии (модуль Python);
- Проведение экспериментов по техническим испытаниям радиоэлектронных блоков на стенде (модули экспериментов на стенде).

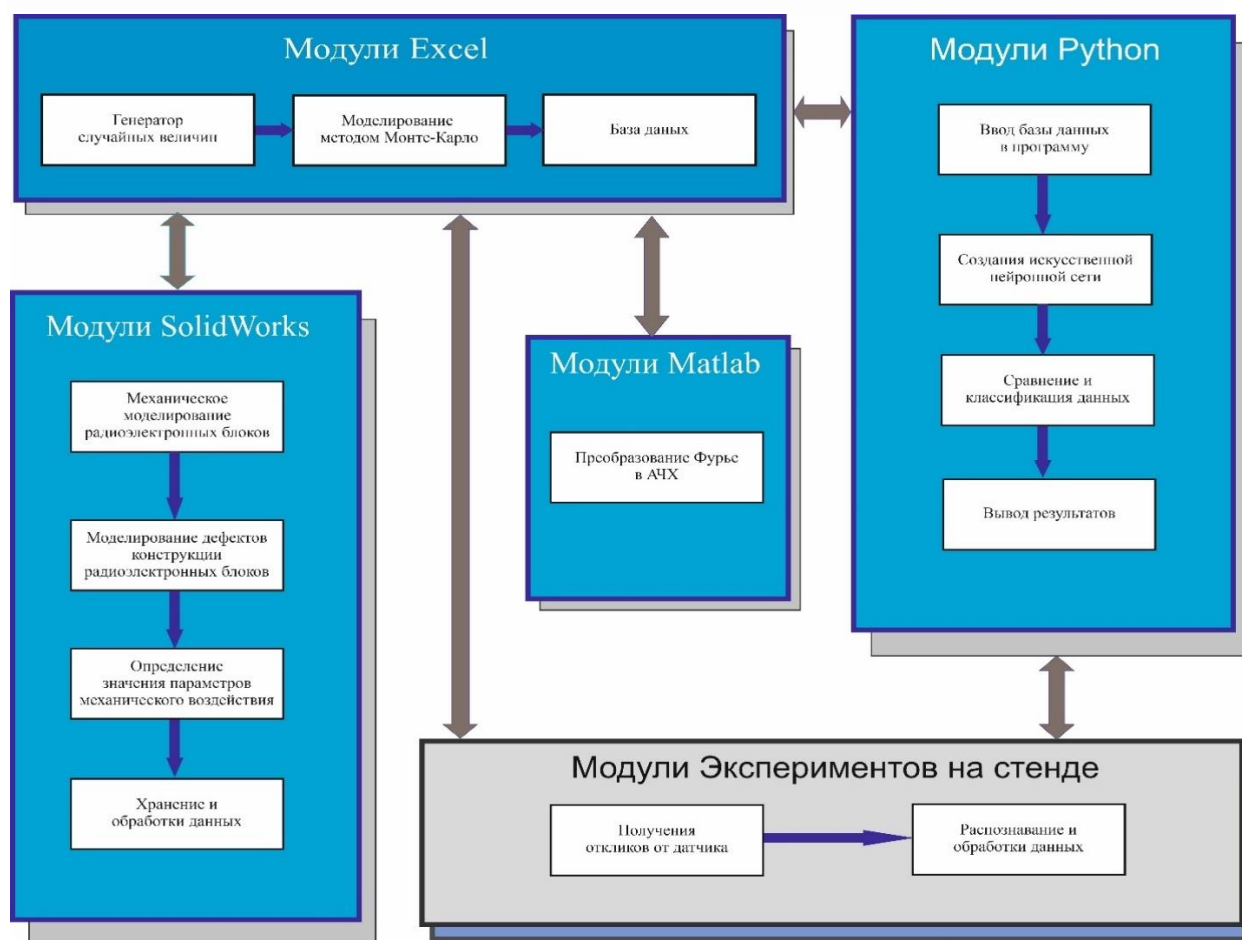


Рисунок 2 – Структура системы автоматически диагностики и обнаружения дефектов в конструкциях радиоэлектронных блоков

III. Заключение

Процесс проведения диагностики технического состояния того или иного устройства требует много времени и проходит множество различных этапов, включая аппаратное оборудование и оператора. Кроме того, его точность зависит от опыта и квалификации диагностов и точности измерительного прибора. Из приведенных выше практических требований показано, что исследование и разработка структуры программного комплекса диагностики поможет существенно снизить трудозатраты и экономические затраты на ее реализацию без снижения точности диагностического процесса. Представленная структура автоматизированной диагностической системы служит основой и предпосылкой для дальнейших углубленных исследований и применения в производственной практике на заводах или в процессе обучения в учебных заведениях.

Список литературы

1. Увайсов С.У., Черноверская В.В., Лью Н.Т., Просветов Н.И., Иванов И.А., Во Т.Х. Method of acoustic emission control of multilayer printed circuit boards of electronic devices (научная статья). Акустико-эмиссионный метод контроля многослойных печатных плат электронных устройств. 2024 IEEE 25th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). 25-я Международная конференция молодых специалистов по электронным приборам и материалам (EDM) IEEE 2024 г.- 28 июня – 02 июля 2024г.- Алтайская республика, Россия. (Electronic ISBN:979-8-3503-8923-4; DOI: 10.1109/EDM61683.2024.10615077 - Scopus, WoS
2. С. У. Увайсов, А. В. Долматов, Хай Тхе Во, Нгок Тиен Лью, Конг Дык Нгуен. Диагностика нарушений целостности конструкций бортовых радиоэлектронных средств при испытаниях на ударные воздействия //Российский технологический журнал: 2024; 12(2):28-38. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2024-12-2-28-38>
3. С.У. Увайсов, В.В. Черноверская, Нгуен Конг Дык, Лью Нгок Тиен, Тхе Хай Во. Акустико-эмиссионная диагностика латентных дефектов в многослойных печатных платах радиоэлектронных устройств. Моделирование, оптимизация и информационные технологии; УДК: 621.396.69; DOI: 10.26102/2310-6018/2024.44.1.004.
4. С. У. Увайсов, Н. Т. Лью, К. Д. Нгуен, Т. Х. Во, А. В. Долматов. *Обнаружение дефектов в многослойной печатной плате методом акустической эмиссии* // Российский технологический журнал: 2024; 12(1):15-29. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2024-12-1-15-29>.
5. Во Т.Х., Долматов А.В., Лью Н.Т., Нгуен К.Д., Увайсов С.У. Алгоритм учёта разбросов технологических параметров конструкции для диагностирования бортовой космической аппаратуры // Научные исследования: итоги и перспективы. том 4. № 4. 2023. Стр. 32-37. ISSN 2713-220x. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-32-37
6. Во Тхе Хай, Долматов А.В., Нгуен Минь Тьонг. Исследование амплитудно-частотных характеристик прототипа блока бортовой космической аппаратуры// Мехатроника, автоматика и робототехника. - 2024. - №13: 170-181. <https://doi.org/10.26160/2541-8637-2024-13-179-181>
7. Во Т. Х., Долматов А.В., Нгуен К. Д., Лью Н.Т., Увайсов Р.М. Разработка базы данных для диагностики конструкции блока бортовых радиоэлектронных средств космических аппаратов методом моделирования монте-карло. «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии» Сборник трудов XX Международной научно-практической конференции, 2023: 329-334
8. Во Т. Х., Увайсов С. У., Долматов А. В., Нгуен К. Д., Лью Н. Т. Исследование влияния дефектов в конструкциях радиоэлектронных блоков на механические амплитудно-частотные характеристики. «Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты» Сборник трудов Национальной научно-практической конференции, 2023: 461-465

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Мирзавалиев Д.Б., Пармонов С.Т., Абдиев О.Х.,
Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета, Узбекистан
+998917744794, mirzavaliyevdastanbek@yandex.ru

В мировой практике при переработке твердых сплавных отходов хорошо себя зарекомендовала технология окислительной плавки нитратом натрия. Данная технология предполагает обработку твердых сплавов в интенсивном герметичном режиме и требует ряд стадий дальнейшей обработки полученного материала: удаление песка, промывка, нейтрализация и осаждение, что в настоящее время экономически мало эффективно, а также вовлечение в производство технологии переработки сопутствующих кобальтсодержащих шламовых отходов, загрязняющих окружающую среду. Поэтому совершенствование

существующих технологий переработки твердых сплавов на основе карбид-кобальта и разработка новых технологий является актуальной научно-практической задачей а также разработка методов электролиза имеет важное научное и практическое значение в повышении эффективности переработки отходов твердых сплавов.

Fundamental and applied research on solid alloy waste recycling. Mirzavaliyev D.B., Parmonov S.T., Abdiev O.X. Almalyk branch of Tashkent state technical university named after Islam Karimov

In global practice, the technology of oxidative smelting with sodium nitrate has proven to be effective for processing hard alloy waste. This technology involves treating hard alloys in an intensive sealed mode and requires several subsequent stages of material processing: sand removal, washing, neutralization, and precipitation. However, this approach is currently economically inefficient, and it also involves incorporating the recycling of cobalt-containing sludge waste, which pollutes the environment. Therefore, improving existing technologies for processing carbide-cobalt-based hard alloys, as well as developing new methods, is a relevant scientific and practical task. Additionally, the development of electrolysis methods holds significant scientific and practical value for increasing the efficiency of hard alloy waste recycling.

Введение

Фундаментальные исследования в этой области направлены на понимание процессов, происходящих при переработке твердых сплавов, изучение их физико-химических свойств, а также разработку новых методов и технологий, способствующих эффективному извлечению ценных компонентов. Прикладные исследования сосредоточены на создании промышленных технологий, позволяющих использовать переработанные материалы повторно, минимизировать отходы и сократить негативное воздействие на окружающую среду. Эти исследования имеют решающее значение для перехода к устойчивому развитию, обеспечивая рациональное использование природных ресурсов и снижение экологических рисков.

Экспериментальная часть

Отходы твердых сплавов на основе карбида вольфрама и кобальта могут быть переработаны с использованием азотной или серной кислоты, а также их растворов в качестве электролита. Этот процесс позволяет растворять кобальт и осаждать вольфрам в виде либо вольфрамовой кислоты, либо карбида вольфрама.

В опытных условиях переработки под воздействием переменного тока отходы абразивно изношенных пальцев на основе карбида вольфрама и кобальта не подвергаются электролизу при использовании азотной или серной кислоты.

Влияние режимов процесса электролиза и состава электролита на выход шлама при переработке таких отходов под воздействием постоянного тока с использованием азотной кислоты представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Электролиза пальца, при измененного условия и воздействии постоянного тока (t=12 часов, T=20°C, l=10 мм, V_{общ}=600 мл), поврежденного абразивным износом

№	Раствор, %	Соль, г.	Масса полученного продукта, г.	Объем электролита, мл	Напряжение и сила тока	
	HNO ₃				NH ₄ NO ₃	шлам
4	9,50	2	41,0572	400	4	2,8
10	14,25	2	56,0730	410	4	3,06/2,8/2,9
6	19,00	2	52,9266	500	4	3,10
12	23,75	2	47,2048	392	4	3,06/2,6
8	28,50	2	50,5214	450	4	2,82

Образцы полученные из абразивно изношенных отработанных пальцев в виде шламов были отфильтрованы, высушены и приведены в состояние порош-ка. Морфологию поверхности и химический состав порошков карбида вольфрама, полученных электролизом в присутствии азотной кислоты под воздействием постоянного тока, изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа марки SEM-EVO MA 10.

Образцы, полученные в виде шлама в присутствии азотной кислоты под воздействием постоянного тока, были отфильтрованы и высушены. С целью исследования химического состава образцов их анализировали на приборе энергодисперсионной рентгеновской флуоресценции (EDXRF) (таблице 2).

Таблица 2 - Состав карбида вольфрамового порошка в полученного электролизом пальца, в присутствии HNO₃ кислоты (образец №6)

Обнаруживаемые элементы, %									
W	Al	Fe	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Sn	
86,0000	0,6000	0,0833	0,1410	0,0165	0,0581	0,2040	0,0088	0,0417	
Co	Te	Hf	Sb	Hg	Si	P	S	Cl	
0,0945	0,0184	0,0194	0,0041	0,1520	11,1000	0,9340	0,2640	0,0144	

Spectrum

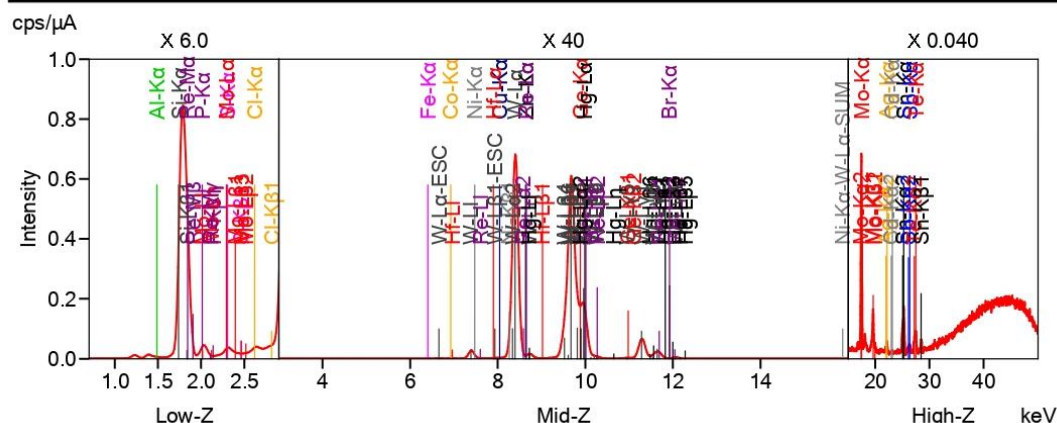


Рисунок 1 - Химический состав вольфрамового порошка порошка, полученного из пальцевых отходов с методом электролиза в присутствии HNO₃ кислоты (образец № 6)

Таблица 2 – Электролиз поврежденного абразивным износом пальца, с участием HNO₃ кислоты под воздействие постоянного тока (t=12 часов, T=20°C, l=10 мм, V_{МКМ}=60 мл)

№	Раствор, %		Масса полученного продукта, г.	Объем электро-лита, мл	Напряжение и сила тока	
	HNO ₃	NH ₄ NO ₃			Шлам	Напряжение, В
4 ¹	9,5	2	41,0572	400	4	2,8/2,97/2,7
15	9,5	4	41,1580	450	4	2,94/2,24/2,0
17	9,5	6	42,7000	450	4	3,04/2,64/2,3
10 ¹	9,5	8	56,0730	410	4	3,06/2,8/2,9
6 ¹	9,5	10	56,9300	500	4	3,10/3,15
12 ¹	9,5	12	57,4800	392	4	3,06/2,6
2 ¹	9,5	14	42,8172	500	4	2,6

Анализ результатов представленных в таблице 6 показывает, что увеличение содержания соли восстановителя от 2 г до 12 г приводит к увеличению образующего шлама, а при увеличении его более 12г количество образующего шлама уменьшается. Это объясняется увеличением столкновений при увеличении концентрации ионов в растворе, а также уменьшением относительной электропроводности.

Влияние на выход шлама режимов процесса электролиза и состава электролита при переработке под воздействием постоянного тока отходов абразивно изношенных отработанных пальцев, на основе карбид-кобальта вольфрам, с помощью H₂SO₄ представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Электролиз поврежденного абразивному износу пальца, в присутствии H₂SO₄ под воздействием постоянного тока (t=12 часов, T=20°C, l=10 мм, V_{общ}=600 мл)

№	Объем, %		Масса полученного продукта, г.	Объем электролита, мл	Напряжение и сила тока	
	H ₂ SO ₄	(NH ₄) ₂ SO ₄			шлам	Напряжение, В
7	8,167	2	32,8459	550	4	2,46
3	16,330	2	43,0405	425	4	2,9
9	24,500	2	35,1463	500	4	2,7
5	32,670	2	5,1281	600	4	2,3
11	40,830	2	0,2500	565	4	0,8-0,11-0,77
13	49,000	2	-	600	4	0,11/0,07

Анализ результатов представленных в таблице 8 показывает, что увеличение содержания соли восстановителя от 2 г до 10 г приводит к увеличению образующего шлама, а при увеличении его более 10 г количество образующего шлама уменьшается. Это объясняется увеличением параметра столкновений при увеличении количества ионов в растворе, а также снижение относительной электропроводности.

Таблица 5 - Электролиз поврежденного абразивным износом пальца, в присутствии H₂SO₄ под действием постоянной силы (t=12 часов, T=20°C, l=10 мм, V_{общ}=600 мл)

№	Объем, %	Соль, г.	Масса полученного продукта, г.	Объем электролита, мл	Напряжение и сила тока	
	H ₂ SO ₄	(NH ₄) ₂ SO ₄	шлам		Напряжение, В	Сила тока, А
3	16,33	2	43,0405	425	4	2,9
14	16,33	4	40,4875	479	4	2,78/2,38/2,7
16	16,33	6	40,5300	470	4	2,80/2,74/2,6
18	16,33	8	63,5400	480	4	2,84
19	16,33	10	63,6360	510	4	3,4
21	16,33	12	28,4200	402	4	2,7
22	16,33	14	30,6500	500	4	3,9

Образцы, полученные в шламовой виде, в участие H₂SO₄ под воздействием постоянного тока были отфильтрованы и высушены. С основной целью исследование химического состава полученных карбида вольфрамовой порошков образец № 21 был проанализирован с помощью прибора (EDXRF) (табл. 6).

Таблица 6 - Химический состав порошка карбида вольфрама, полученного в процессе электролиза отходов пальцев в серной кислоте (образец № 21)

Обнаруживаемые элементы, %									
M	W	Al	Fe	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Sn
%	81,0000	0,5340	0,0701	0,1130	0,0337	0,0450	0,5050	0,0095	0,0453
M	Co	Te	Ti	Sb	Hg	Si	P	S	—
%	0,4250	0,0216	0,1860	0,0066	0,1590	8,2500	0,723	7,8300	—

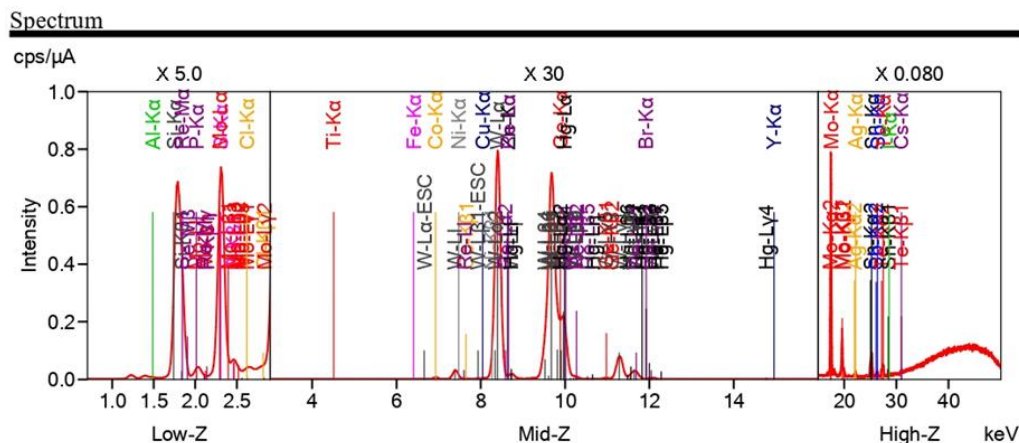


Рисунок 2 - Химический состав карбида вольфрамовой порошка, полученного из пальцевых отходов с методом электролиза в присутствии HNO₃ (образец № 21)

Как показано выше из таблицы 6 в образце №21 имеются вредные металлы для спекания (Al, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Sn, Te, Ti, Sb, Hg), но являющийся связывающим веществом для твердых сплавов на основе в карбид-кобальт ольфрам Co полностью растворился (98-99%).

Влияние на выход шлама режимов процесса электролиза и расстояния между катодом и анодом при переработке под воздействием постоянного тока отходов абразивно изношенных отработанных пальцев с помощью серной кислоты представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Результаты электролиза абразивно изношенных пальцев в H₂SO₄ под влиянием постоянного тока (t=12 часов, m_{соль}=12г, T=20°C, V_{общ}=600 мл)

№	Раствор, %	Расстояние между катодом и анодом, мм	Масса полученного продукта, г. шлам	Объем электролита, мл	Напряжение и сила тока	
	H ₂ SO ₄				Напряжение, В	Сила тока, А
3 ¹	16,33	10	43,0405	450	4	3,9
22 ¹	16,33	20	30,6500	450	4	3,9
23	16,33	30	25,9800	475	4	2,5/2,1
24	16,33	40	27,9500	500	4	3,78/3,74
25	16,33	50	20,9800	550	4	2,45/1,27

Шламовые образцы, полученного с методом электролиза при добавлении 12г (NH₄)₂SO₄ были отфильтрованы и высушены. Проведен анализ химического состава полученных порошков карбида вольфрама (табл. 8).

Таблица 8 - Химический состав порошка карбида вольфрама, полученного при электролизе в серной кислоте отходов пальцев (образец № 25)

Обнаруживаемые элементы, %									
	W	Al	Fe	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Sn
	80,9000	0,5620	0,0641	0,1230	0,0173	0,0433	0,414	0,0100	0,0413
	Co	Te	Hf	Ti	Sb	Hg	Si	P	S
	0,2860	0,0190	0,1920	0,1960	0,0041	0,1560	9,260	0,7780	6,9500

Spectrum

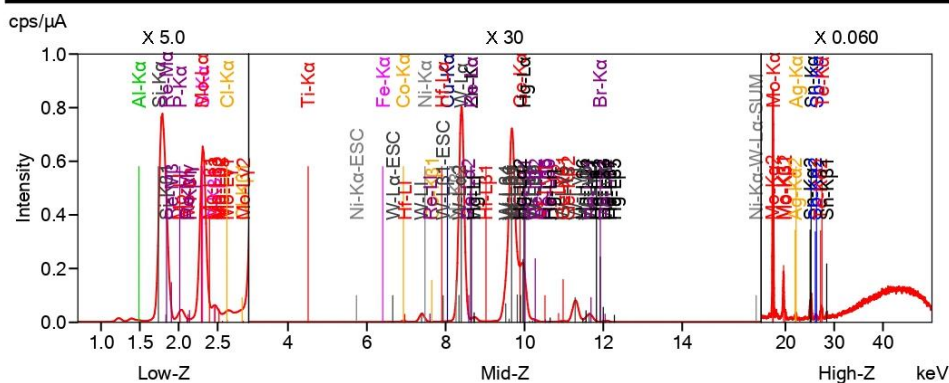


Рисунок 3 - Химический состав порошка карбида вольфрама, полученного электролизом пальцевых отходов в присутствии азотной кислоты (образец № 25)

Как показывает таблицы 7 в образце №25 имеются вредные металлы (Al, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Sn, Te, Hf, Ti, Sb, Hg) для спекания, но являющийся связывающим веществом твердых сплавов на основе карбид-кобальт вольфрам Co полностью в растворе растворился (98-99%).

Заключение

В заключение стоит отметить, что отходы твердых сплавов на основе карбида вольфрама и кобальта могут быть успешно переработаны с использованием азотной или серной кислоты в качестве электролита. Этот процесс позволяет растворять кобальт и осаждать вольфрам в форме вольфрамовой кислоты или карбида вольфрама. Исследования показали, что использование постоянного тока и соответствующих режимов электролиза приводит к значительному извлечению кобальта и снижению содержания железа в конечных продуктах, что подтверждает возможность успешного применения данной технологии на практике.

Результаты, полученные при различных режимах электролиза, демонстрируют, что выбор условий, таких как состав электролита, концентрация соли восстановителя и расстояние между катодом и анодом, существенно влияет на выход и чистоту конечного продукта. Проведенные анализы подтвердили возможность снижения содержания нежелательных примесей в порошках карбида вольфрама до уровней, пригодных для повторного использования в производстве твердых сплавов, что делает предложенную методику перспективной для дальнейшего внедрения в промышленные процессы.

Литература

1. Мирзавалиев Д.Б., Парманов С.Т., Улугов Г.Д., ПЕРЕРАБОТКА ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ И ПОЛУЧЕНИЕ РАСТВОРА ВОЛЬФРАМАТА НАТРИЯ // Universum: технические науки. 2023. №10-2 (115). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pererabotka-volframsoderzhaschih-othodov-i-poluchenie-rastvora-volframata-natriya> (дата обращения: 04.09.2024).
2. The morphology of the powder contained in solid alloy used to crush underground resources III International Conference on Actual Problems of the Energy Complex: Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection (ICAPE2024). Cheonan, Republic of Korea, February 12-14, 2024. Volume 498. – PP. 1-9. Parmonov S.T., Sharipov K.A., Kambarov A.D., Khoshimkhanova M.A., Abdurimov A., Mirzavaliyev D.B., Yusupova G.X.
URL: https://www.researchgate.net/publication/378766061_The_morphology_of_the_powder_contained_in_solid_alloy_used_to_crush_underground_resources
3. The properties of the powder that makes the basis of hard alloys used in the crushing of underground resources. //International Conference on Ensuring Sustainable Development: Ecology, Energy, Earth Science and Agriculture (AEES2023). China, Russia. December 21-22, 2023. Volume 494. – PP. 1-7. Parmonov S.T., Shakirov Sh.M., Yusupova G.X., Kuchkarova N.X., Shonazarova Sh.I., Tursunova D.R., Kambarov A.D. URL: https://www.researchgate.net/publication/378396291_The_properties_of_the_powder_that_makes_the_basis_of_hard_alloys_used_in_the_crushing_of_underground_resources

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ В УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Харьков В.П., Халютин О.С., Исаев С.А.*
ООО «НПО НаукаСофт», *АО «НПП “Топаз”»
+7 (495) 255-36-35, contacts@naukasoft.ru

В статье рассмотрена задача построения заданной топологии строя летательных аппаратов за фиксированное время. Решение данной задачи выполнено на основе концепции обратных задач динамики. Показано, что применение данного подхода к синтезу управления динамическими объектами позволяет придать замкнутой системе управления требуемые свойства. Это достигается за счёт введения дополнительных ограничений, представляющих собой некоторые гиперповерхности, в частном случае – гиперплоскости. Приведен пример синтеза управления при решении задачи управления дальностью и скоростью полёта за фиксированное время. Результаты моделирования показывают эффективность предложенных законов управления и точность решения задачи управления с заданными граничными условиями.

Ключевые слова: алгоритмы управления, метод синтеза управления, обратные задачи динамики, время регулирования, граничные условия, точность управления.

Inverse dynamic problems in the control of complex processes. Kharkov V. P., Khalyutina O. S., Isaev S. A.* Scientific Production Association NaukaSoft, LLC, *Scientific Production Enterprise “Topaz”, JSC.

The article considers the problem of constructing a given aircrafts formation topology in a fixed time. The solution of this problem is based on the concept of inverse dynamics problems. It is shown that the application of this approach to the synthesis of dynamic objects control makes it possible to give a closed control system the required properties. This is achieved by introducing additional constraints, which are some hypersurfaces, in a special case, hyperplanes. An example of control synthesis is given when solving the problem of controlling the flight range and speed in a fixed time. The simulation results show the effectiveness of the proposed control laws and the accuracy of solving the control problem with specified boundary conditions.

Keywords: control algorithms, control synthesis method, inverse dynamic problems, control time, boundary conditions, control accuracy.

Введение

Существует ряд задач, реализация которых в поиске рациональных или оптимальных решений не представляется возможной без применения либо игрового подхода, либо методов теории управления. Это прежде всего управление грузопассажирскими транспортными средствами, производственными предприятиями непрерывного цикла, электроэнергетическими предприятиями и т. д. Определение в режиме реального времени оптимальных решений и дальнейшее их использование стало возможным, во-первых, за счет развития теории принятия решений для сложных динамических задач, а, во-вторых, за счёт существенного повышения уровня надёжности средств вычислительной техники.

Среди всего многообразия задач, решение которых предполагает достижение заданного уровня точности управления координатами вектора состояния, выделяются задачи управления воздушными судами как наиболее сложные, имеющие ограничения на время управления. К режимам полёта, когда время строго

ограничено, относят обходы грозовых фронтов в горизонтальной и вертикальной плоскостях, групповой полёт, а в последнее время – построение строя летательных аппаратов, особенно беспилотных (БЛА). В дальнейшем будет рассмотрена задача построения строя БЛА произвольной топологии как наиболее сложного этапа полёта. Сложность данного этапа полёта обусловлена необходимостью синтеза управления в реальном масштабе времени, точного выдерживания основного тренда требуемой траектории движения с целью обеспечения безопасного полёта отдельных БЛА и завершения формирования строя за одно и то же заданное время для всех БЛА.

Традиционные методы синтеза управления невозможно в полной мере использовать из-за нелинейного характера описания математических моделей объекта управления и сложности представления стратегии управления в явной функции координат состояния и целевой функции, характеризующей качество решения задачи. Анализ методов синтеза управления показывает, что наиболее целесообразно использовать метод, основанный на концепции обратных задач динамики, позволяющий достаточно просто учитывать как основные функциональные особенности объекта управления, так и характеристики целевой функции.

Основные математические соотношения метода синтеза

Рассмотрим систему, движение которой подчиняется дифференциальному уравнению

$$d\mathbf{X}(t)/dt = f(\mathbf{X}(t), \mathbf{u}(t), t), \quad (1)$$

где $\mathbf{X}(t)$ – вектор координат состояния системы размерности n ;

$\mathbf{u}(t)$ – вектор параметров управления системы размерности m ;

$f(\cdot)$ – известная векторозначная функция, непрерывная и дифференцируемая требуемое число раз по своим аргументам.

Необходимо найти управляющую силу $\mathbf{u}(t)$, доставляющую экстремум функционалу качества

$$I = \int_{t_0}^{t_k} L[\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j, \mathbf{u}(t), t] dt, \quad (2)$$

где $L[\cdot]$ – положительно полуопределенная функция;

t_0, t_k – моменты времени начала и конца работы системы соответственно;

\mathbf{Y}_j – заданный m -мерный вектор управляемых координат системы.

Наложим некоторое ограничение на требуемую траекторию движения системы (1) путём введения дополнительного условия для её координат состояния:

$$F(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j) = 0, \quad (3)$$

где $F(\cdot)$ – m -мерная вектор-функция, непрерывная и дифференцируемая по своим аргументам n раз. В общем случае функция $F(\cdot)$ является многообразием в n -мерном пространстве – некоторой гиперповерхностью.

Так как в связи со свойством инерционности для большинства объектов управляемые координаты не изменяются мгновенно, условие (3) в случае его невыполнения в момент t_0 преобразуем в следующее:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} F(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j) = 0. \quad (4)$$

Для последующих выводов зададим вектор-функции $F(\cdot)$ конкретный вид:

$$F(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j) = \mathbf{X}_1(t) - \mathbf{Y}_j, \quad (5)$$

где $\mathbf{X}_1(t)$ – m -мерный вектор, компоненты которого совпадают по физическому смыслу с составляющими заданного m -мерного вектора \mathbf{Y}_j .

Заметим, что ограничение (5) определяет некоторую гиперповерхность размерностью m , при этом остальные координаты вектора состояния являются свободными. Для физической иллюстрации ограничения рассмотрим объект управления – БЛА с тремя координатами состояния: H – высота полёта; V – скорость полёта; ψ – курс. Если ограничение (5) представляет собой $H - H_j$, то многообразие есть плоскость, проходящая через точку H_j параллельно плоскости $OV\psi$, а если учесть, что скорость полёта ограничена иволютивной и максимальной скоростями, то многообразие фактически есть бесконечная полоса.

Потребуем, чтобы невязка (5) стремилась к нулю в соответствии с решением однородного дифференциального уравнения, имеющего порядок $r \leq m$ и связывающего компоненты вектора состояния, входящие в $\mathbf{X}_1(t)$, с управляющей силой:

$$F^{(r)}(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j) + \lambda_{r-1} F^{(r-1)}(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j) + \dots + \lambda_0 F(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j) = 0, \quad (6)$$

где $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{r-1}$ – некоторые положительно определенные матрицы, которые обеспечивают устойчивость решения (6), r определяется видом объекта управления.

Для того чтобы независимо от сложности рассматриваемого объекта была возможность представить решение в аналитической форме, рассмотрим случай, когда уравнение (6) является линейным.

При подстановке ограничительного условия (5) в дифференциальное уравнение (6) с учётом системы, описывающей динамику объекта, получаем дифференциальное уравнение уже относительно искомого управляющего воздействия $\mathbf{u}(t)$, которое также имеет порядок r :

$$B_r(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j) + \lambda_{r-1} B_{r-1}(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j) + \dots + \lambda_0 B_0(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j) = \sum_{i=1}^r \gamma_i, \quad (7)$$

где в правую часть перенесены слагаемые γ_i , не зависящие от $\mathbf{u}(t)$.

$B_j(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j), j = 0, 1, \dots, r - 1$ – производные от функции рассогласования, определяемые как

$$B_j(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j) = d^j[F(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j)]/dt^j.$$

Итак, при условии управляемости (1) искомый при заданных ограничениях закон управления можно найти в результате решения (7) относительно $\mathbf{u}(t)$:

$$\mathbf{u}^{(r-1)}(t) + \mathbf{a}_{r-2}\mathbf{u}^{(r-2)}(t) + \dots + \mathbf{a}_0\mathbf{u}(t) = \mathbf{Q}(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j). \quad (8)$$

Для дальнейшего исследования удобно представить дифференциальное уравнение (8) в виде системы Коши, имеющей размерность $m \cdot (r - 1)$:

$$d\mathbf{u}_b(t)/dt = \mathbf{\Phi}\mathbf{u}_b(t) + \mathbf{P}(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j), \quad (9)$$

где $\mathbf{\Phi}$ – матрица, имеющая форму Фробениуса, ненулевые элементы последних m строк которой составлены из коэффициентов дифференциального уравнения (8) – матриц $\mathbf{a}_j, j = 0, 1, \dots, r - 2$; $\mathbf{u}_b(t)$ – вектор размерности $m \cdot (r - 1)$, первые m -компонент которого составляют $\mathbf{u}(t)$.

Управляющая функция $\mathbf{u}(t)$, определенная в результате применения вышеизложенного метода, зависит от параметров $\lambda_j, j = 0, 1, \dots, r - 1$ и позволяет преобразовать замкнутую систему (1), описывающую объект управления, в математическую модель следующего вида:

$$d\mathbf{X}(t)/dt = \mathbf{A}(\lambda)\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}(\lambda)\mathbf{Y}_j, \quad (10)$$

где $\mathbf{A}(\lambda)$ – матрица формы Фробениуса, в которой элементы последней строки сформированы из коэффициентов λ .

Следующий этап синтеза управления заключается в определении неизвестных параметров $\lambda_j, j = 0, 1, \dots, r - 1$.

Подынтегральное выражение в функционале качества (2) можно разложить на два слагаемых:

$$L[\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j, \mathbf{u}(t), t] = L_1(\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}_j) + L_2(\mathbf{X}(t), \mathbf{u}(t)), \quad (11)$$

где $L_2(\cdot)$ – положительно определённая, а $L_1(\cdot)$ – положительно полуопределённая функции.

Из уравнений (8) и (10) следует, что и управление $\mathbf{u}(t)$, и вектор состояния $\mathbf{X}(t)$ представляют собой функции, зависящие от вектора параметров $\lambda_j, j = 0, 1, \dots, r - 1$ и координат вектора \mathbf{Y}_j .

Это значит, что функционал качества (2) с подынтегральной функцией (11) может быть представлен в виде $I = \varphi(\lambda)$, где $\varphi(\lambda)$ – непрерывная и дифференцируемая функция.

Подставляя решение системы (10) в виде $\mathbf{X}(\lambda)$, управление $\mathbf{u}(\mathbf{X}(\lambda), \mathbf{Y}_j)$ и учитывая свойства функции $\varphi(\lambda)$, процедуру поиска минимума $I(\lambda)$, а, следовательно, и $\mathbf{u}(t)$ можно свести к решению системы нелинейных уравнений:

$$\partial\varphi(\lambda)/\partial\lambda_j = 0, j = 0, \dots, r - 1. \quad (12)$$

Модель движения объекта управления

Математическую модель положения летательного аппарата в пространстве состояний будем представлять в виде дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} dV/dt &= (P\cos\alpha - X\cos\alpha - G\sin\theta)/m, \\ d\theta/dt &= (Y\cos\alpha - X\cos\alpha - G\sin\theta)/mV, \\ dH/dt &= V\sin\theta, \\ dL/dt &= -V\cos\theta, \\ dZ/dt &= V\cos\theta\cos\psi, \\ dP/dt &= a(ku_{дв} - P) + b(ku_{дв} - P)^2. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь через L обозначен остаток пути, который необходимо пролететь БЛА до точки начала строевого полёта, остальные обозначения традиционные.

Синтез законов управления БЛА в задаче построения строевого полёта

Задачу построения заданной топологии строя за фиксированное время можно представить в виде совокупного решения следующих задач: задача управления дальностью, высотой и боковым отклонением. Все указанные задачи решаются по одному и тому же методу в соответствии с формулами (6)–(12).

Для определённости рассмотрим задачу преодоления заданного пути за фиксированное время полёта. Формально задача управления трактуется так: требуется найти такое управление $u_{дв}(t)$, которое обеспечивает перевод БЛА из произвольного, но допустимого по условиям задачи, начального состояния в конечное с минимумом функционала качества за фиксированное время t_k .

$$I = \int_0^{t_k} [\beta_1 u_{дв}^2] dt + \beta_2 (V(t_k) - V_j)^2 + \beta_3 (L(t_k) - L_j)^2. \quad (14)$$

В соответствии с вышеизложенным методом обратных задач динамики решение поставленной задачи будем находить из предположения, что ограничение $F = L - L_j$ стремится к нулю по заданному закону:

$$F^{(3)}(x) + \lambda_2 F^{(2)}(x) + \lambda_1 F^{(1)}(x) + \lambda_0 F(x) = 0. \quad (15)$$

Таким образом получим выражение для управляющего воздействия в зависимости от $F(x)$ и её производных.

Характер переходного процесса определяется коэффициентами λ_j , $j = 0, 1, 2$, значения которых определяются из (12) с учётом функционала (14). В целях учета ограничений, реально существующих для заданных значений скорости полёта, тяги силовой установки и перемещения ручки управления двигателем (РУД) в виде двойных неравенств $V_{\min} \leq V_{\text{зад}} \leq V_{\max}$, $P_{\min} \leq P_{\text{зад}} \leq P_{\max}$, $u_{\min} \leq u_{\text{зад}} \leq u_{\max}$, целесообразно использовать поэтапный синтез управления, когда на каждом этапе определяется только одно из перечисленных заданных значений. В этом случае уравнение (16) представляется в виде трёх уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned} d(P - P_{\text{зад}})/dt + \lambda_0(P - P_{\text{зад}}) &= 0, \\ d(V - V_{\text{зад}})/dt + \lambda_1(V - V_{\text{зад}}) &= 0, \\ d(L - L_{\text{зад}})/dt + \lambda_2(L - L_{\text{зад}}) &= 0, \end{aligned} \quad (16)$$

решение которых приводит к построению алгоритма управления. Из решения первых двух уравнений системы (16) получаем:

$$\begin{aligned} P_{\text{зад}} &= \lambda_1 m (V_{\text{зад}} - V) + X + G \sin \theta, \\ u_{\text{зад}} &= [(\bar{P} - 0,5a/b) - (0,25a^2/b^2 + \lambda_0/b)^{0,5}(\bar{P} - \bar{P}_{\text{зад}})]/k, \end{aligned} \quad (17)$$

где $\bar{P} = P/P_{\max}$ – нормированное значение тяги. Нормирование значения тяги принято в целях перехода от характеристик реального к гипотетическому БЛА в задачах моделирования процессов управления.

Заметим, что использование (17) в задачах управления скоростью полёта предполагает выбор знака перед радикалом из условия сохранения устойчивости процесса управления в целом. В целях исключения этого предлагается представить радикал рядом Тейлора с соответствующим числом членов. Тогда, оставляя первые два члена разложения радикала в ряд относительно $\Delta P = \bar{P}_T - \bar{P}$, получим

$$u_{\text{зад}} = [\bar{P} + \lambda_0 \Delta P/a + \lambda_0^2 b \Delta P^2/a^3]/k. \quad (18)$$

Рассмотрим реализацию третьего уравнения системы (16). Особенностью здесь является вычисление функции ограничения $F = L - L_{\text{зад}}$.

Смысл ограничения $F(t)$ поясним на рисунке 1.

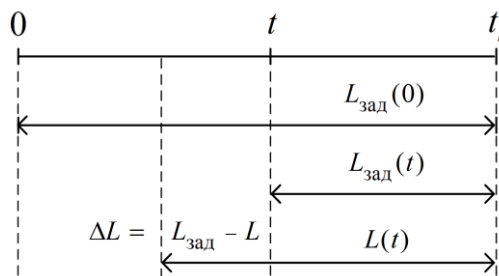


Рисунок 1

На рисунке 1 представлена графическая интерпретация текущего и заданного значений дальности. Расчёт текущей заданной скорости полёта выполняется аналогично расчёту заданных значений тяги и положения РУД.

Результаты моделирования

Результаты моделирования включают в себя исследования свойств объекта управления, характеристики контура управления скоростью полёта и характеристики контура управления дальностью или положения БЛА при построении строя.

Временные характеристики объекта и его функциональные особенности изображены на рисунках 2 и 3. Переходные процессы по при различных начальных условиях изображены на рисунке 2, из которых следует нелинейный характер его математического представления. Это обусловлено нелинейной зависимостью скорости изменения тяги от знака заданного приращения тяги, что и изображено на рисунке 3.

Процессы управления скоростью полёта БЛА представлены на рисунках 4 и 5. Результаты моделирования, представленные на этих рисунках, подтверждают справедливость утверждения, что если закон изменения функции ограничения выбрать линейным, то замкнутый контур управления будет линейным (рисунок 5). Здесь представлены графики изменения скорости полёта при заданном изменении от 200 до 250 м/с и от 250 до 200 м/с, при этом время переходного процесса одно и то же и составляет 40 с. На рисунке 5 изображены графики изменения заданной и текущей тяг при заданном изменении скорости на +50 м/с, при этом значения тяги не превышают максимальных значений.

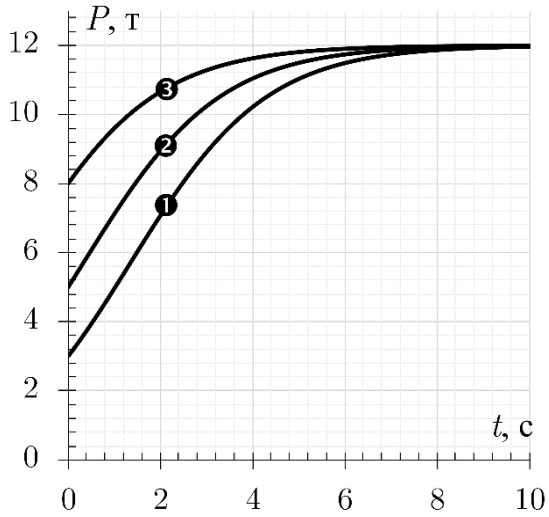


Рисунок 2

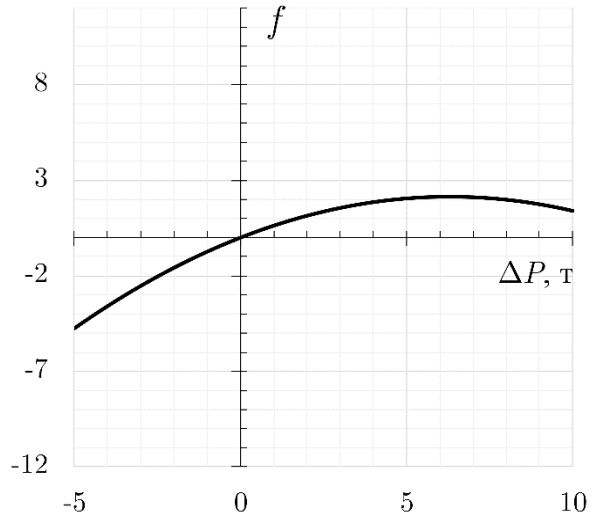


Рисунок 3

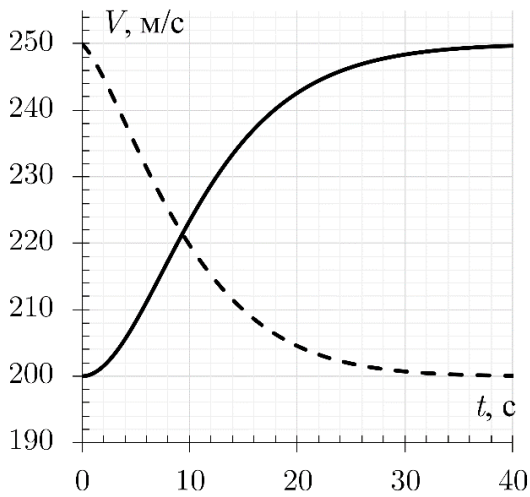


Рисунок 4

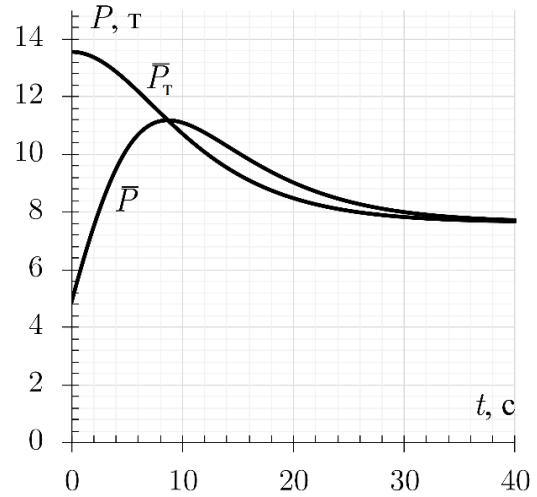


Рисунок 5

Процессы функционирования системы управления местоположением БЛА в строю при различных краевых условиях представлены на рисунках 6–9. На рисунках 6 и 7 представлены результаты построения строя, когда начальные значения скорости выше конечных значений, а на рисунках 8 и 9 – когда ниже конечных. Однако вне зависимости от краевых условий процессы построения строя удовлетворяют всем граничным условиям. Причём построение строя заканчивается строго за заданное время.

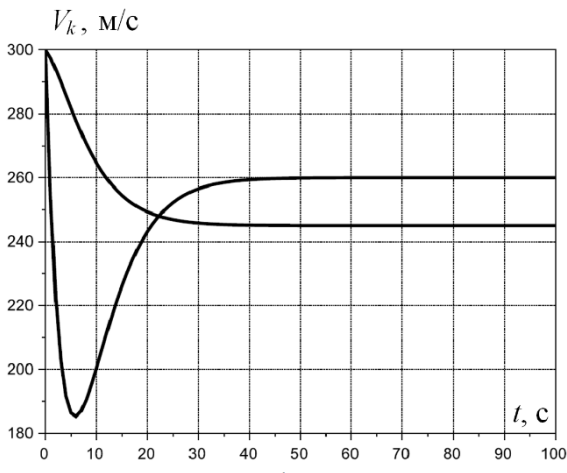


Рисунок 6

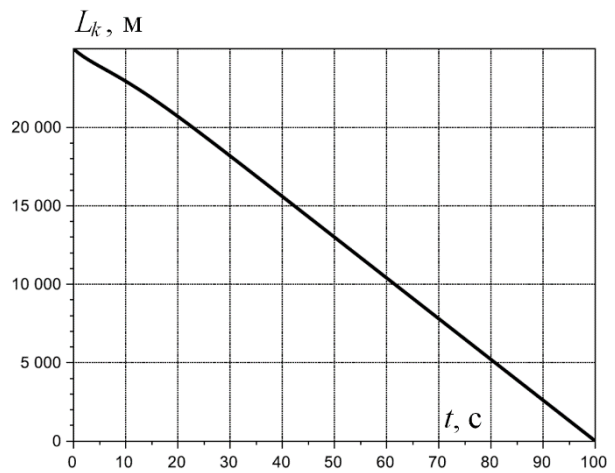


Рисунок 7

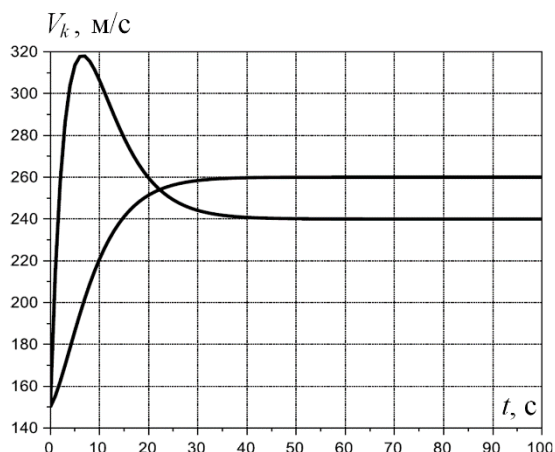


Рисунок 8

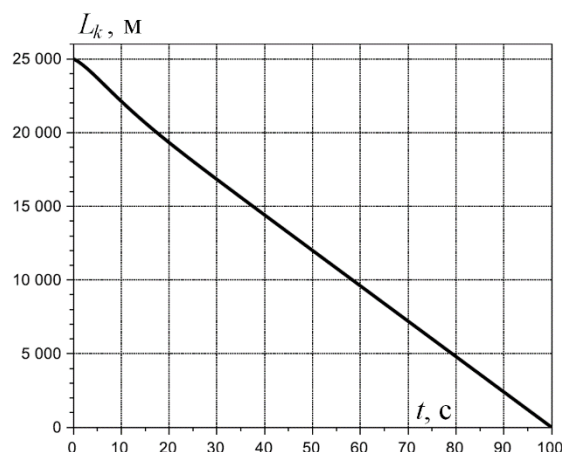


Рисунок 9

Выводы

Предложенный метод синтеза управления позволяет синтезировать управление при решении задачи построения строя БЛА. Точность решения исходной задачи удовлетворяет предъявляемым требованиям. Алгоритмы управления учитывают функциональные особенности объекта управления, что и позволяет придавать замкнутой системе управления нужные ей свойства. Реализация, предложенных алгоритмов управления не требует больших вычислительных ресурсов, но предполагает, что вектор состояния известен.

Литература

1. Ройтенберг, Я. Н. Автоматическое управление / Я. Н. Ройтенберг. – М. : Наука, 1992. – 576 с.
2. Беллман, Р. Некоторые вопросы математической теории процессов управления / Р. Беллман, И. Гликсберг, О. Гросс ; пер. с англ. В. В. Величенко и Л. А. Тененбаума ; под ред. М. А. Айзермана и Р. В. Гамкрелидзе. – М. : Издательство иностранной литературы, 1962. – 336 с.
3. Острем, К. Й. Введение в стохастическую теорию управления / К. Ю. Острем ; пер. с англ. С. А. Анисимова [и др.] ; под ред. Н. С. Райбмана. – М. : Мир, 1973. – 321 с.
4. Крутько, П. Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. Цикл лекций : учебное пособие для вузов / П. Д. Крутько. – М. : Машиностроение, 2004. – 576 с.
5. Сейдж, Э. П. Оптимальное управление системами / Э. П. Сейдж, Ч. С. Уайт, III ; пер. с англ. Е. Б. Левиной, Ю. С. Шинакова ; под ред. Б. Р. Левина. – М. : Радио и связь, 1982. – 392 с.
6. Харьков, В. П. Структурно-параметрический синтез управления динамическими системами / В. П. Харьков // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1991. – № 2.
7. Харьков, В. П. Алгоритм управления относительным положением беспилотных летательных аппаратов / В. П. Харьков // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2015. – № 5. – С. 33–40.
8. Оптимизация радиоэлектронных систем управления. Методы и алгоритмы синтеза оптимального управления. Методы и алгоритмы обеспечения заданных свойств управляемых динамических объектов и систем / В. С. Верба, С. Г. Капустян, В. И. Меркулов, В. П. Харьков // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2013. – Т. 11, № 11. – С. 3–21.
9. Верба, В. С. Оптимальное групповое управление беспилотными летательными аппаратами в сетевидной системе / В. С. Верба, В. И. Меркулов, В. П. Харьков // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2013. – Т. 11, № 11. – С. 48–53.

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУДКАМИ

Элбакян Л.С.^{1,2}, Запороцкова И.В.², Чешева М.Ф.²

¹Российско-Армянский (Славянский) университет, Армения, г. Ереван

²Волгоградский государственный университет, Россия, г. Волгоград

e-mail:lusniak-e@yandex.ru

Композиционные материалы на основе поливинилового спирта (ПВС), модифицированные углеродными нанотрубками (УНТ), представляют собой интересную систему для исследования структуры

и свойств полимерных нанокомпозитов. ПВС обладает простой химической структурой с гидроксильной функциональной группой, которая способна участвовать в межфазных взаимодействиях. Углеродные нанотрубки, в свою очередь, обладают уникальными электрическими и механическими свойствами, которые могут быть использованы для улучшения характеристик полимерных материалов. В работе изучены механизмы взаимодействия ПВС и УНТ путем моделирования процессов адсорбции фрагмента полимера на внешней поверхности однослойных УНТ различной хиральности, выполненных в рамках современного метода расчета DFT. Определены основные адсорбционные характеристики процесса и особенности электронно-энергетической структуры получаемых композиционных систем. Эти результаты могут быть использованы для дальнейшего улучшения процессов разработки новых композиционных материалов на основе ПВС и УНТ с улучшенными прочностными характеристиками. Анализ электронной структуры полученных композитов позволяет оценить изменения в электронных свойствах материалов после взаимодействия ПВС с УНТ, что может быть связано с возможными улучшениями в механических и электрических характеристиках композитов.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, полимерные нанокомпозиты, поливиниловый спирт, адсорбционное взаимодействие, электронно-энергетическая структура, теория функционала плотности.

The mechanism of formation and electronic-energy structure of ynnocomposite material based on polyvinyl alcohol modified with carbon nanotubes. Elbakyan L.S.^{1,2}, Zaporotskova I.Z.², Chesheva M.F.² ¹ Institute of Engineering and Physics, Russian-Armenian University, Yerevan, Armenia, ² Institute of Priority technologies, Volgograd State University, Volgograd 400062, Russia

Composite materials based on polyvinyl alcohol (PVA) modified with carbon nanotubes (CNTs) represent an interesting system for studying the structure and properties of polymer nanocomposites. PVA has a simple chemical structure with a hydroxyl functional group that is capable of participating in interphase interactions. Carbon nanotubes, in turn, have unique electrical and mechanical properties that can be used to improve the performance of polymer materials. The paper studies the mechanisms of interaction between PVS and CNTs by modeling the processes of adsorption of a polymer fragment on the outer surface of single-layer CNTs of various chirality, performed within the framework of the modern DFT calculation method. The main adsorption characteristics of the process and the features of the electron-energy structure of the resulting composite systems are determined. These results can be used to further improve the development processes of new composite materials based on PVS and CNT with improved strength characteristics. The analysis of the electronic structure of the obtained composites makes it possible to evaluate changes in the electronic properties of materials after the interaction of PVS with CNT, which may be associated with possible improvements in the mechanical and electrical characteristics of composites.

Keywords: carbon nanotubes, polymer nanocomposite, polyvinyl alcohol, adsorption interaction, electronic energy structure, Density functional theory calculations

Полимерные материалы играют ключевую роль в современной промышленности и науке благодаря их уникальным свойствам и разнообразным применениям. Усовершенствование физико-химических, эксплуатационных, электропроводящих и других характеристик полимерных материалов имеет огромное значение для развития различных отраслей промышленности и технологий. Это позволит создавать более эффективные и инновационные материалы, способные удовлетворить растущие потребности современных технологий и промышленности. В настоящее время проблема создания новых типов полимерных композиционных материалов становится всё более актуальной. Эти материалы, называемые полимерными нанокомпозитами, обладают уникальными свойствами благодаря уровню дисперсности наполнителя или армирующего элемента в нанометровом диапазоне размеров. Нанокомпозиты могут иметь широкий спектр применения и использоваться в различных отраслях промышленности. Они обладают улучшенными эксплуатационными характеристиками, такими как повышенная прочность, термостойкость, химическая устойчивость и другие. Это делает их перспективными материалами для использования в строительстве, авиационной и космической технике, медицине и других областях. Однако создание таких материалов требует тщательного изучения свойств наночастиц и разработки методов их равномерного распределения в полимерной матрице. Также необходимо учитывать возможные риски, связанные с использованием наночастиц, и проводить исследования по их безопасности. В качестве такого наполнителя могут использоваться углеродные нанотрубки, обладающие комплексом уникальных свойств (сорбционных, прочностных и т.д.), которые в настоящее время являются продуктами промышленного производства, что обеспечивает возможность контроля и модификации их свойств [1-5]. Поэтому можно предложить создание новых композитных материалов, полученных модификацией полимеров углеродными нанотрубками, для улучшения их физико-химических свойств и последующим выходом на потребительский рынок.

В качестве объекта исследования выбран полимерный материал на основе поливинилового спирта. Поливиниловый спирт (ПВС) представляет собой недорогой, гидрофильный, нетоксичный,

стабильный, термопластичный полимер. Одной из достоинств данного материала является его способность придавать материалам клеящие свойства. Он устойчив к бензину, маслам и кислотам, что делает его незаменимым компонентом в процессе производства строительных материалов и защитных покрытий. Еще одним достаточно важным достоинством данного полимера является его способность легко смешиваться с наполнителями. Это намного расширяет область применения данного полимерного материала, так как в последние годы увеличивается потребность в получении композиционных материалов, сочетающих в себе свойства как основного компонента, называемого матрицей, так и прочих наполнителей (компонентов), которые вводятся в определенных соотношениях.

Важно отметить, что свойства полимерного композиционного материала зависят не только от свойств матрицы и наполнителя, но и во многом зависит от характера их взаимодействия. Таким образом, введение УНТ в полимерную матрицу может значительно расширить область применения полимерных материалов на основе ПВХ. Так, уникальные электрические свойства УНТ являются важным параметром, определяющим дальнейшую возможность их использования в различных целях. Ключевую роль в определении электрических свойств УНТ является: тип УНТ (однослойные или многослойные), плотность дефектов, существование (или отсутствие) адсорбированных молекул, однако один из самых важных характеристик является хиральность (описывает структурные особенности нанотрубок, связанные с их направлением спиральной обмотки). Во многих экспериментальных исследованиях отмечается, что применение УНТ как проводящего наполнителя в полимерной матрице приводят к очень низким порогам концентраций УНТ, при которых начинается заметное токопрохождение, в отличие от теоретических значений, предсказываемых теорией перколяции [6-9]. Так, даже при очень низких концентрациях УНТ (от 0,0001% до 1%) полимерная матрица становится электропроводящей. В то же время теория перколяции предсказывает, что для достижения проводимости концентрация УНТ должна составлять около 16%. [10]. Это позволяет эффективно управлять электрическими свойствами изначально диэлектрических полимеров без значительного изменения их физических свойств, таких как прочность и гибкость [6-8]. Углеродные нанотрубки, с другой стороны, обладают уникальными прочностными свойствами и широко используются в промышленном производстве. Контроль и модификация свойств углеродных нанотрубок позволяют создавать материалы с определенными характеристиками для различных целей.

В данной работе для исследования особенностей структуры, электронно-энергетического строения нанокомпозита на основе ПВХ, допированного углеродными нанотрубками, а также изучения механизмов взаимодействия между УНТ и фрагментами поливинилового спирта, применена теория функционала плотности (DFT). DFT – это один из методов теоретического исследования, который позволяет предсказать поведение материалов на основе квантово-механических расчетов. DFT-расчеты могут быть выполнены с использованием различных программных пакетов, таких как VASP, Quantum ESPRESSO, Gaussian и другие. В результате DFT-расчетов можно получить информацию о структуре, энергии и других свойствах материалов. Эта информация может быть использована для оптимизации условий экспериментов и разработки новых материалов с заданными свойствами. Для исследования системы был выбран гибридный метод приближения, а именно метод V3LYP. Главным достоинством метода V3LYP является его высокая точность. Расчеты велись с применением валентно-расщепленного базисного набора типа 3-21G. Данный функционал с выбранным базисным набором хорошо адаптирован под выбранные системы [11-12].

Адсорбционное взаимодействие поливинилового спирта и УНТ

Для изучения процесса взаимодействия УНТ с ПВХ важно знать, как происходит процесс взаимодействия углеродных нанотрубок с фрагментом ПВХ, содержащим несколько структурных единиц поливинилового спирта. С этой целью, проводятся теоретические исследования основываясь на результатах выполненных теоретических исследований, представленных выше, нами были выполнены DFT-расчеты процессов взаимодействия однослойных УНТ (6,6) и (9,0), с фрагментом полимера $[-CH_2CH(OH)-]_n$, где n - число структурных единиц. В нашем случае было выбрано $n = 16$. В таблице 1 представлены основные параметры рассматриваемых УНТ и длины рассмотренных нами молекулярных кластеров. На рисунке 3а представлена структура этого фрагмента ПВХ после оптимизации, выполненный в программном пакете GaussView.

Моделирование взаимодействия происходило пошагово: фрагмент поливинилового спирта (ПВС) постепенно приближался к атому углерода на поверхности нанотрубок выбранных типов с шагом в $0,1 \text{ \AA}$. Фрагмент $[-CH_2CH(OH)-]$ приблизился к атому углерода, расположенному примерно в центре кластера, что позволило предотвратить влияние краевых эффектов. На рис. 2б представлена модель взаимодействующей нанотрубки (6, 6) и фрагмента ПВХ.

В результате выполненных расчетов были получены значения энергии систем на каждом шаге, позволившие построить кривые зависимости энергии взаимодействия от расстояния между выбранным фрагментом и УНТ (рис. 2). Установлено, что каждая кривая имеет минимум, соответствующий взаимодействию на определенных расстояниях. Значение энергии адсорбции при взаимодействии ПВХ

активным центром (1) с УНТ(6,6) составило порядка 0,04 эВ, расстояние адсорбции $R_{ad} = 4,1 \text{ \AA}$, с УНТ(9,0) - 0,07 эВ на расстоянии $R_{ad} = 4,1 \text{ \AA}$.

Результаты исследования показывают, что выбранные углеродные нанотрубки способны образовывать стабильные комплексы с фрагментом ПВС, содержащим несколько структурных единиц. При этом расстояния взаимодействия характерны для физической адсорбции.

Особенности электронно-энергетического строения полимерных нанокомпозитов на основе полиметилметакрилата и УНТ.

Проведён анализ электронной структуры соединений, которые образованы различными типами углеродных нанотрубок (УНТ) и фрагментом поливинилового спирта (ПВС) $[-CH_2CH(OH)-]_{16}$. Для исследования были выбраны нанотрубулены, показавшие максимальную сорбционную активность в отношении ПВС. Анализ ширины запрещённой зоны ΔE_g адсорбционных комплексов позволяет определить тип проводимости системы определяется как разность энергий между верхними занятыми состояниями в валентной зоне и нижними свободными состояниями в зоне проводимости. В данном случае система представляет собой полупроводник - для разных комплексов значение ΔE_g варьируется от 1,175 эВ до 1,307 эВ. Таким образом, УНТ, введённые в полимерную матрицу ПВС, имеющую диэлектрическую проводимость, придают конечному полимерному нанокомпозиту полупроводниковые свойства. Значения ΔE_g приведены в таблице 2, визуализация одноэлектронных уровней энергии кластеров полимера и системы «ПВС+УНТ» представлена на рисунке 1.

Использование композитных материалов на основе ПВС и УНТ позволяет исследовать влияние нанонаполнителей на структуру и свойства полимерных нанокомпозитов. Это может быть полезно для разработки новых материалов с улучшенными характеристиками, а также возможности применения подобных материалов в качестве материала приборов микро- и нанoeлектроники, обладающего полупроводниковыми свойствами.

Таблица 1 – Основные параметры УНТ

Тип УНТ	Диаметр D, нм	Длина УНТ, нм/ число атомов	Тип проводимости
(6,6)	0,814	24.4 /264	Металлическая
(9,0)	0,705	23.9 /234	Металлическая

Таблица 2 – Результаты адсорбционного взаимодействия $[-CH_2CH(OH)-]_{16}$ на поверхности УНТ

Тип УНТ	Активный центр	Расстояние адсорбции R_{ad} , \AA	Энергия адсорбции, ΔE_a , эВ	Ширина запрещенной зоны ΔE_g , эВ
(6,6)	атом кислорода	4,1	0,04	1,175
(9,0)	атом кислорода	4,1	0,07	1,307

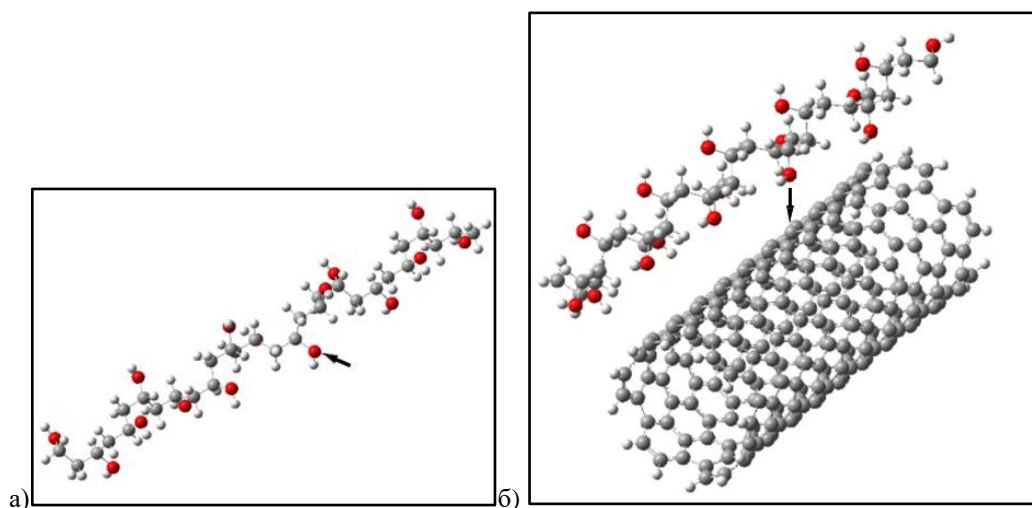


Рис 1. а) фрагмент ПВС после оптимизации; б) комплекс "УНТ (6,6)+ПВС".

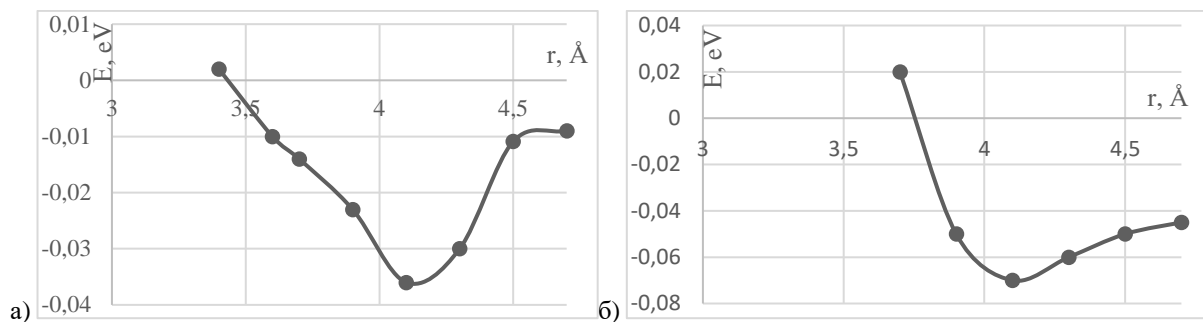


Рис.2. Энергетические кривые взаимодействия фрагмента ПВС [-CH₂CH(OH)-]₁₆ с: а) УНТ(6,6); б) УНТ(9,0).

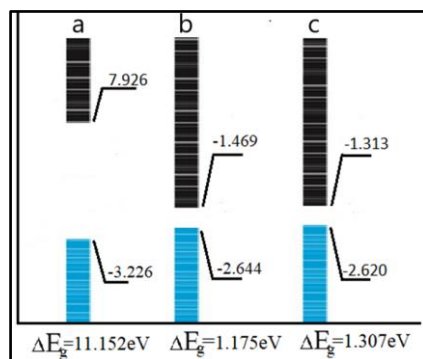


Рис.3. Визуализация одноэлектронных уровней энергии кластеров полимера и системы «ПВС+УНТ»: а) ПВС; б) ПВС+УНТ(6,6); в) ПВС+УНТ(9,0).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (государственное задание № FZUU-2023-001).

Список литературы

1. Dong Lu, Yanlin Huo, Zhisheng Jiang, Jing Zhong. Carbon nanotube polymer nanocomposites coated aggregate enabled highly conductive concrete for structural health monitoring // Journal Carbon, Volume 206 -2023, 340-350 pp.
2. Xu Zhao, Jizhen Zhang, Ke Lv, Na Kong, Yanqiu Shao, Jinlong. Tao Carbon nanotubes boosts the toughness and conductivity of wet-spun MXene fibers for fiber-shaped super capacitors// Carbon, Volume 200, 2022, 38-46 pp.
3. Gaurav Kharche, Bhaskara Rao Lokavarapu Static buckling analysis of single walled carbon nanotube // MaterialsToday: Proceedings - 2023
4. Запороцкова И.В. Углеродные и неуглеродные наноматериалы и композитные конструкции на их основе: структура и электронные свойства. - Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2009. - 490 с.
5. Дьячков П.Н. Углеродные нанотрубки: структура, свойства, применение. Москва, 2005, 196 с.
6. Sandler J.K.W. et al. Ultra-low electrical percolation threshold in carbon-nanotube-epoxy composites // Polymer. 2003. Vol. 44. P. 5893–5899.
7. Ramasubramaniam R. et al. Homogeneous carbon nanotube/polymer composites for electrical applications // Appl. Phys. Lett. 2003. Vol. 83, № 14. P. 2928-2930.
8. Chebil A. et al. Synthesis characterization, optical and electrical properties of polyvinyl alcohol/multi-walled carbon nanotube nanocomposites: A composition dependence study // Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv.Technol. Elsevier, 2019. Vol. 243, № April. P. 125–130.
9. Scher H., Zallen R. Critical density in percolation processes // J. Chem. Phys. 1970. Vol. 53. P. 3759–3761
10. [Wolfram Koch](#), [Max C. Holthausen](#) A Chemist's Guide to Density Functional Theory, Second Edition, 2001
11. M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel, G. E. Scuseria et al. //Gaussian 09, Revision A.1, Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2009.
12. Elbakyan, L.S. КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА GAUSSIAN И ГРАФИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА GAUSSVIEW - Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2022 – 81с.

СИСТЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Шеденко В.В., Иванов И.А., Иванов В.С.
РТУ МИРЭА
+7(901)956-64-67, ShedenkoVV@mail.ru

Статья посвящена обзору принципов работы систем детектирования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В работе приводится анализ существующих технологических решений. Приведены основные сценарии использования подобных систем. В заключении рассматриваются перспективные направления развития систем обнаружения БПЛА, включая использование искусственного интеллекта и разработку новых технологий.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, система обнаружения, детектирование БПЛА, технология обнаружения, идентификация.

Unnamed aerial vehicle detection systems. Shedenko V.V., Ivanov I.A., Ivanov V.S. RTU MIREA.

The article is devoted to the principles of operation of detection systems for unmanned aerial vehicles (UAVs). The paper provides an analysis of existing technological solutions. The main scenarios of using such systems are given. In conclusion, promising areas for the development of UAV detection systems are considered, including the use of artificial intelligence and the development of new technologies.

Keywords: unmanned aerial vehicle, detection system, UAV detection, detection technology, identification.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся все более распространенным явлением в современной жизни. Они используются в различных сферах, от доставки товаров до наблюдения и разведки. Однако рост популярности БПЛА также порождает новые проблемы, связанные с безопасностью и конфиденциальностью. В связи с этим возрастает актуальность разработки и внедрения систем обнаружения БПЛА, позволяющих своевременно идентифицировать и контролировать их движение.

В статье будут рассмотрены различные системы детектирования БПЛА, основанные на современных технологических решениях, обладающие высокой эффективностью. Стоит отметить, что нет универсальной системы детектирования БПЛА, имеющиеся решения имеют как преимущества, так и недостатки. Отдельное внимание уделено акустическому методу обнаружения БПЛА.

Существующие технологии обнаружения БПЛА

Существующие физические принципы, лежащие в основе обнаружения БПЛА, можно поделить на следующие группы:

1. Радиочастотное обнаружение (РЧ). Эта технология основывается на отражении радиоволн от летательного аппарата (ЛА). Анализируя отраженный сигнал, системы РЧ-обнаружения способны определять местоположение, скорость и тип БПЛА. Такие системы малоэффективны для БПЛА, разработанных по стелс-технологии.

2. Оптическое обнаружение. Системы оптического обнаружения используют видеокамеры и датчики изображения для визуального наблюдения за воздушным пространством. Они могут различать БПЛА по внешнему виду и идентифицировать их тип, размер и форму. Такие системы имеют малую эффективность при плохой видимости и в ночное время.

3. Акустическое обнаружение. Эта технология основывается на обнаружении шума, производимого БПЛА. Анализируя звуковые волны, системы акустического обнаружения могут определить местоположение и тип БПЛА, а также идентифицировать ЛА. Сложность создания таких систем заключается в проектировании звукоулавливающих систем и идентификации БПЛА.

4. Инфракрасное (ИК) обнаружение. Системы ИК-обнаружения определяют БПЛА по их тепловому излучению. Это особенно эффективно для обнаружения БПЛА в ночное время или при плохой видимости.

5. Лазерное обнаружение. Эта технология использует лазерные лучи для обнаружения БПЛА. Лазерное сканирование позволяет точно определять местоположение и траекторию полета БПЛА.

6. Мультисенсорные системы. В основе этой технологии - использование большого количества датчиков. Такие системы сложны в настройке.

Акустические системы обнаружения БПЛА

Акустические системы обнаружения БПЛА основаны на регистрации звуковых сигналов, которые генерируются в процессе работы моторов, винтов и других компонентов БПЛА. Эти звуки могут

удовлетворять множеству характеристик, таких как частота, амплитуда и временные параметры, которые могут быть использованы для определения типа и состояния БПЛА.

Во время Великой Отечественной Войны, операторы-слухачи (рисунок 1) с помощью звукоулавливающих систем определяли приближение вражеских самолётов. Самолёты таким способом обнаруживали на расстоянии до 10 км, по звуку работы двигателя операторам установки в некоторых случаях удавалось определить тип самолёта и количество летящих самолётов.



Рисунок 1 – Операторы-слухачи при выполнении боевой задачи.

Алгоритм обнаружения БПЛА с помощью акустических систем

Существуют различные алгоритмы акустического детектирования БПЛА. Один из алгоритмов обнаружения и распознавания БПЛА акустическим методом состоит из следующих этапов:

1. Запись звука. Система использует микрофоны для захвата звуковых сигналов в диапазоне частот, характерных для работы БПЛА. Оптимальный выбор места для размещения микрофонов критически важен для получения качественного сигнала. Также необходимо использование звукоулавливающих устройств, позволяющих более точно определить направление источника звука.

2. Обработка сигналов. Записанные звуковые данные обрабатываются с помощью алгоритмов анализа, таких как быстрое преобразование Фурье (FFT), для выделения частотных составляющих и амплитудных пиков.

3. Классификация и распознавание. Используя алгоритмы машинного обучения и статистическую обработку, система может определять типы БПЛА, их размеры и возможные намерения на основе акустических профилей.

Обзор акустической системы обнаружения БПЛА с матрицей чувствительных микрофонов

Одна из современных систем обнаружения беспилотных летательных аппаратов - Squarehead Technology имеет в составе акустического детектора (рисунок 2) матрицу из чувствительных микрофонов. Использование нескольких таких детекторов позволяет определить направление полёта

БПЛА, расстояние до него, высоту полёта, с помощью алгоритмов машинного обучения определить тип летательного аппарата.



Рисунок 2 – Акустический детектор.

Акустическая система состоит из большого количества таких акустических детекторов, объединённых в большие массивы. Это позволяет обеспечивать детектирование БПЛА, образуя большую зону покрытия.

Заключение

Системы обнаружения БПЛА играют важную роль в обеспечении безопасности охраняемых объектов и противодействии угрозам, связанным с использованием БПЛА. Развитие технологий обнаружения направлено на создание более эффективных, точных и многофункциональных систем обнаружения, способных оперативно обнаруживать БПЛА, обеспечивая безопасность в воздушном пространстве.

Литература

1. Антти, С. Беспилотники: автомобили, дроны, мультикоптеры / С. Антти. — Москва : ДМК Пресс, 2018. — 120 с. — ISBN 978-5-97060-662-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/107894> (дата обращения: 30.08.2024).
2. Шалыгин, А. С. Устойчивость динамических систем автоматического управления : учебное пособие / А. С. Шалыгин, В. А. Санников. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2015. — 162 с. — ISBN 978-5-85546-856-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75170> (дата обращения: 30.08.2024).
3. Щевьев, Ю. П. Основы физической акустики : учебное пособие для вузов / Ю. П. Щевьев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 364 с. — ISBN 978-5-8114-7958-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/169805> (дата обращения: 30.08.2024).

СТРАТЕГИЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ИННОВАЦИОННОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Богданова М.В.^{1,2}, Богданова В.Г.²

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный университет правосудия», ²ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»
+7 (915) 1136963, bogdanovamv2009@yandex.ru

Статья посвящена вопросам продвижения инновационной высокотехнологичной российской продукции. Реализация стратегии продвижения инновационной российской продукции рассмотрена на примере ООО «Боровский завод гидромоторов». Проанализирована роль промышленного маркетинга на современном рынке высокотехнологичной продукции. Представлены результаты маркетингового исследования основных игроков на мировом рынке гидромоторов. Определены основные стратегические задачи ООО «Боровский завод гидромоторов».

Ключевые слова: инновационная высокотехнологичная продукция, промышленный маркетинг, маркетинговая стратегия.

Strategy for promoting domestic innovation high-tech products. Bogdanova M.V.^{1,2}, Bogdanova V.G.²,
¹Russian State University of Justice, ²State University of Management.

The article is devoted to the promotion of innovative high-tech Russian products. The implementation of the strategy for promoting innovative Russian products is considered on the example of Borovsky Plant of Hydraulic Motors LLC. The role of industrial marketing in the modern market of high-tech products is analyzed. The results of a marketing study of the main players in the global hydraulic motor market are presented. The main strategic objectives of Borovsky Plant of Hydraulic Motors LLC have been determined.

Keywords: innovative high-tech products, industrial marketing, marketing strategy.

Промышленный маркетинг имеет важное значение в конкурентной борьбе за потребителя на современном рынке высокотехнологичной инновационной продукции, насыщенном и изменчивом. От рациональности решений, которые принимаются системой маркетинга организации, зависит эффективность адаптации компании. Генерирование идей, сбалансированная ценовая политика, уникальное торговое предложение (УТП), выбранная стратегия, удержание позиций на рынке – всё это позволяет компании существовать и развиваться.

На рынке высокотехнологичной продукции есть множество примеров успешной реализации стратегий промышленного маркетинга.

ООО «Боровский завод гидромоторов» является первым высокотехнологичным заводом в структуре производства гидромоторов в России, образованным после 1991 года. Предприятие реализует наукоемкие технологии, в производстве задействованы **высококвалифицированные работники**. Учреждение предприятия было обосновано необходимостью создания и организации производства планетарных гидромоторов в Российской Федерации. Гидромоторы представляют собой наукоемкие и высокоточные изделия. В России производство планетарных гидромоторов отсутствовало, а потребность в них удовлетворялась закупкой по импорту.

Созданное предприятие специализируется на разработке высокотехнологичной продукции - конструкций и изготовлении низкооборотных, высокомоментных планетарных гидромоторов мощностью 30-100 кВт, широко используемых в различных отраслях машиностроения:

- железнодорожное машиностроение (путевые машины);
- строительное и коммунальное машиностроение;
- подъемно-транспортное машиностроение;
- судостроение;
- энергомашиностроение;
- нефтегазовое машиностроение;
- лесопромышленное машиностроение;
- горно- и угледобывающее машиностроение;
- сельскохозяйственное машиностроение;
- станкостроение;
- производство спецтехники.

Это направление развития техники обусловлено рядом преимуществ гидропривода по сравнению с механическим и электрическим приводами. Основными преимуществами являются:

- малые масса и габариты;
- надежная защита от перегрузок;

- возможность бесступенчатого регулирования частоты вращения;
- высокая эксплуатационная надежность;
- минимальные затраты на техническое обслуживание;
- возможность свободного пространственного расположения рабочих органов машины.

Стоимость гидропривода для различных машин составляет от 5 до 60% от их общей стоимости.

Сравнение указанных типов низкооборотных гидромоторов показывает, что планетарные в 3-5 раз легче радиально-поршневых и имеют в 2-4 раза меньшую стоимость. Именно по этим причинам планетарные гидромоторы широко используются в различных машинах. При этом планетарные гидромоторы имеют на 7-15 % ниже коэффициент полезного действия (КПД) и меньшую мощность.

Для примера в таблице 1 показаны значения характеристик для радиально-поршневых и планетарных гидромоторов.

Таблица 1 – Характеристики гидромоторов

Показатель	Агрегатный завод (г. Людиново)	Боровский завод гидромоторов (г.Боровск)	Данфосс (Дания)
Тип гидромотора	Радиально-поршневой	Планетарный	Планетарный
Марка	МРФ-630/25	ГВЗ.01.630	OMV-630
Рабочий объем, см ³	630	630	630
Номинальное давление, МПа	25	20	18
Масса, кг	150	28	35

Планетарные гидромоторы являются относительно новым типом гидромоторов. Они появились на рынке в 70-е годы XX века и являлись маломощными агрегатами, работающими при давлении 8-10 МПа. За прошедшие годы их мощность значительно увеличилась, а давление рабочей жидкости возросло до 25-30 МПа, что определило их широкое применение в различных, особенно мобильных машинах. Их выпуск оценивался примерно в 100-200 тыс. шт. в год.

В результате проведенного маркетингового исследования были выявлены основные игроки на мировом рынке гидромоторов. В настоящее время данная продукция выпускается в Дании, Англии, Италии, Болгарии. Наиболее известными фирмами являются «Danfoss» и «Viskers». В США основными производителями являются фирмы «Char Lien» и «Parker».

Разработка и производство новых отечественных конструкций планетарных гидромоторов позволит устранить существующий перекос в доле выпуска планетарных моторов, довести ее до 25-30% от общего объема рынка гидромоторов в РФ (сейчас <1%), снизить зависимость от импорта и послужит существенным толчком в создании высокопроизводительных машин.

Проводимая в России политика импортозамещения позволила существенно сократить долю импорта в промышленном комплексе. Однако в отдельных секторах отечественной экономики наблюдается высокая степень зависимости от импортной продукции. В условиях санкционного давления разработка и производство новых конструкций, в частности отечественных гидромоторов позволит обеспечить технологический суверенитет и послужит существенным толчком в создании высокопроизводительных машин.

Высокотехнологичные российские промышленные компании отличаются степенью технической сложности и специфическими потребностями потребителей. Продвижение высокотехнологичной продукции, инженерных достижений, технологического превосходства – ключевые составляющие эффективного развития в условиях высокой конкуренции в мировом промышленном секторе [1,2].

Созданные на «Боровском заводе гидромоторов» конструкции планетарных гидромоторов, помимо отличия от зарубежных в схеме передачи крутящего момента от редуктора на выходной вал, имеют принципиально другой подвод жидкости к рабочим камерам и ее непосредственное распределение без промежуточных золотников.

Эти особенности, заложенные в конструктивное исполнение гидромоторов ГВЗ, преопределили их преимущества перед зарубежными планетарными гидромоторами.

Созданная на «Боровском заводе гидромоторов» **высокотехнологическая продукция** обладает следующими преимуществами перед зарубежными планетарными гидромоторами:

- высокий уровень давления для всех моторов независимо от их рабочего объема;
- высокий коэффициент полезного действия (КПД);
- возможность длительной работы при больших перегрузках;
- высокая долговечность.

К настоящему времени разработаны и с 2009 г. выпускаются гидромоторы серии ГВЗ.01 мощностью 30-35 кВт на давлении 20МПа, с 2014 г. гидромоторы серии ГВЗ.02 мощностью 60-80 кВт на давлении до 30МПа. Следует отметить, что разработанная конструкция системы распределения рабочей жидкости позволила создать планетарные моторы не только с вращающимся валом, но и с вращающимся корпусом (импортных аналогов нет).

Выбранная концепция позволила создать планетарные гидромоторы с высокой мощностью и КПД, близкие по этим показателям к радиально-поршневым моторам и превосходящие зарубежные аналоги.

Широкая номенклатура гидромоторов позволила разработать и выпускать более ста моделей различных гидроагрегатов.

Предприятие первым на отечественном рынке разработало топовую линейку одно и двухскоростных гидробуров. Гидробуры «Вертикаль» - навесное оборудование, предназначенное для бурения скважин и отверстий под установку столбов ограждений, опор линий электропередач, завинчивания свай при строительстве мостов, причалов и решения других строительных задач.

Мона (М)- однодиапазонные с гидровращателями оснащенными планетарными гидромоторами. Гидровращатели этой серии обеспечивают создание крутящего момента (Мкр.ном.) от 2 до 100кНм и частоту вращения вала (об/мин) от 8,5 об/мин до 140 об/мин.

Dual (D) – двухдиапазонные с гидровращателями оснащенными планетарными гидромоторами и редукторами с устройством переключения диапазонов (скоростей) вращения. Гидровращатели этой серии за счет изменения скорости вращения при прохождении грунтов различной плотности способны изменять крутящий момент от 3 до 20 раз и снижать обороты до 5-7 об/мин.

Выполненные за эти годы разработки в области создания планетарных гидромоторов и гидроагрегатов при существенном увеличении их выпуска способны в значительной степени удовлетворить современное машиностроение России в планетарных гидромоторах, гидромотор-колесах, гидровращателях, гидробурах, гидромоторах привода хода и др. Широкая номенклатура гидромоторов позволила разработать и выпускать более ста моделей различных гидроагрегатов.

В настоящее время гидромоторы применяются в буровых установках, машинах для завинчивания свай, гидравлических ключах, поворотных устройствах, приводах колес и других машинах и механизмах в различных отраслях промышленности. Выпускаемые изделия широко используются в современной строительной, дорожной, коммунальной, лесозаготовительной технике, в авиации, на кораблях, буровых платформах и горнодобывающем оборудовании [9,10].

Результаты эксплуатации гидромоторов за прошедший период показали их высокую надежность, хорошие технические и эксплуатационные данные.

Выбранная концепция конструирования планетарных гидромоторов в России позволила создать высококачественные, надежные гидромоторы с высокими техническими характеристиками, обеспечивающими возможность создания новой, современной техники и обладающие высокой конкурентоспособностью на мировом рынке гидравлики.

Однако, опыт внедрения на российский рынок гидромоторов производства ООО «Боровский завод гидромоторов» обозначил следующие проблемы.

Гидромоторы практически не находят применения в уже существующей и серийно выпускаемой российскими предприятиями технике, применяющей импортные гидромоторы или моторы других конструкций.

У предприятий (заводов), выпускающих технику с гидроприводом, сохраняются тенденции и предпочтения закупать гидромоторы по импорту.

Организации (дилерские сети и т.п.) реализующие импортные гидромоторы и технику на Российском рынке активно и довольно успешно продвигают изделия западных фирм.

Сохраняется стереотип о несовершенстве отечественных гидравлических систем.

Вышесказанное преопределило необходимость разработки маркетинговой стратегии создания и продвижения продукции предприятия с использованием инструментов промышленного маркетинга.

Основные инструменты промышленного маркетинга представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Инструменты промышленного маркетинга

В рамках маркетинговой стратегии, включающей товарную, ценовую, сбытовую, сервисную и политику продвижения, предприятию необходимо демонстрировать технические преимущества своей инновационной продукции, устанавливать устойчивые партнерские отношения с промышленными партнерами, реализуя средства маркетинговой коммуникации, предоставлять гарантийное и послепродажное обслуживание [3,4,5].

Основными стратегическими задачами ООО «Боровский завод гидромоторов» являются:

1. Анализ потребностей рынка в выпускаемой продукции.
2. Разработка промышленной политики.
3. Активизация взаимодействия предприятия на рынке.
4. Обеспечение конкурентоспособности продукции.
5. Определение рисков, связанных с выбором партнеров и поставщиков.

Эффективная стратегия продвижения инновационной высокотехнологичной продукции расширит круг клиентов и обеспечит повторные продажи, повысит ценность бренда.

Литература

1. Богданова М.В. Маркетинг результатов интеллектуальной деятельности: монография, [электронное издание сетевого распространения] / М. В. Богданова. Государственный университет управления. – М.: «КДУ», «Добросвет», 2020. – 129 с.
2. Богданова М.В., Паршинцев А.А. Методика управления интеллектуальным капиталом в высокотехнологичных проектно-ориентированных компаниях // Научное обозрение. Серия 1: Экономика и право. — 2021. — № 2. — С. 67-76.
3. Особенности промышленного маркетинга: [Электронный ресурс]. –2024– URL: <https://studfile.net/preview/7747861/page:4/> (дата обращения: 12.06.2024)
4. Промышленный маркетинг: особенности, цели, инструменты и стратегии: [Электронный ресурс]. –2024– URL: <https://www.sostav.ru/blogs/151891/39434> (дата обращения: 12.06.2024)
5. Клищенко В. Промышленный маркетинг. Как продать дорого: [Электронный ресурс]. – 2024– URL: https://ridero.ru/books/promyshlenniy_marketing/freeText/#freeTextContainer (дата обращения: 12.06.2024)
6. Официальный сайт ООО «Боровский завод гидромоторов» [Электронный ресурс]. URL: <https://hydroborovsk.ru/> (дата обращения: 12.06.2024)
7. Официальный сайт ООО «Боровский завод гидромоторов» [Электронный ресурс]. –2024– URL: <https://hydrovertical.ru/>(дата обращения: 12.06.2024)

КИБЕРФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕИНЖИНИРИНГУ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА ПРУДОВОГО ХОЗЯЙСТВА

Борзин Р. Ю., Кравец А. Г.
Волгоградский государственный технический университет
roma.borzin@mail.ru, AllaGKravets@yandex.ru

В статье рассматривается использование киберфизических систем в рыбном хозяйстве. Предлагается использовать технологию реинжиниринга для улучшения процесса мониторинга и кормления рыбы в прудах. Традиционные методы мониторинга и управления прудами требуют больших затрат времени и ресурсов, что делает их неэффективными. Для решения этой задачи предлагается создать киберфизическую систему анализа данных мониторинга, включающую два модуля: кормораздатчик с датчиками качества воды и модуль для расчета нормы кормления и анализа состояния воды. Внедрение таких методов значительно повысит точность, скорость и эффективность управления прудовыми хозяйствами.

Ключевые слова: Киберфизические системы, мониторинг, анализ данных, управление, реинжиниринг.

A cyberphysical approach to the reengineering of the pond monitoring process. Borzin R. Yu., Kravets A.G., Volgograd State Technical University

Abstract. The article discusses the use of cyberphysical systems in fisheries. It is proposed to use reengineering technology to improve the process of monitoring and feeding fish in ponds. Traditional methods of pond monitoring and control require a lot of time and resources, which makes them ineffective. To solve this problem, it is proposed to create a cyberphysical monitoring data analysis system, which includes two modules: a feed dispenser with water quality sensors and a module for calculating the feeding rate and analyzing the state of water. The introduction of such methods will significantly increase the accuracy, speed and efficiency of pond management.

Keywords: Cyber-physical systems, monitoring, data analysis, control, reengineering.

Введение

Реинжиниринг — это радикальное перепроектирование бизнес-процессов организации и связанных систем управления и организационных структур с целью значительного повышения эффективности бизнеса [1]. Основная идея реинжиниринга состоит в том, чтобы отказаться от улучшения существующих процессов и разработки новых, что позволит компании значительно повысить ее эффективность [2].

В последние годы быстрое развитие технологий привело к интеграции физического и цифрового мира, что нашло отражение в концепции киберфизических систем. Одной из перспективных областей применения является сельское хозяйство, особенно рыбное хозяйство [3]. Традиционные методы мониторинга и управления прудового хозяйства требуют много времени и ресурсов, поэтому они не всегда эффективны.

Анализ процесса мониторинга прудового хозяйства

На сегодняшний день в прудовых хозяйствах процесс мониторинга включает в себя [4]:

- выезд на пруд;
- расчет дозировки корма;
- ведение учетной документации;
- прогнозирование роста рыбы;
- прогнозирование расхода корма.

Основными действующими лицами являются «Главрыбвод» и «Технический сотрудник». Процесс «Расчет дозировки корма» включает в себя анализ текущих параметров воды, веса рыбы и плотности ее посадки в пруд. Процесс «Ведение учетной документации» включает в себя занесение в журнал данных параметров воды, веса рыбы и плотности посадки.

Самым трудозатратным процессом является «Выезд на пруд». Выезд осуществляется для проведения замеров параметров воды, распылки корма по территории пруда, вылова рыба для контрольного взвешивания, осмотра и продажи.

Для правильного расчета дозировки корма, необходимо проводить замеры параметров воды дважды в сутки [5]. Диаграмма состояния процесса мониторинга и кормления рыбы изображена на рисунке 1.

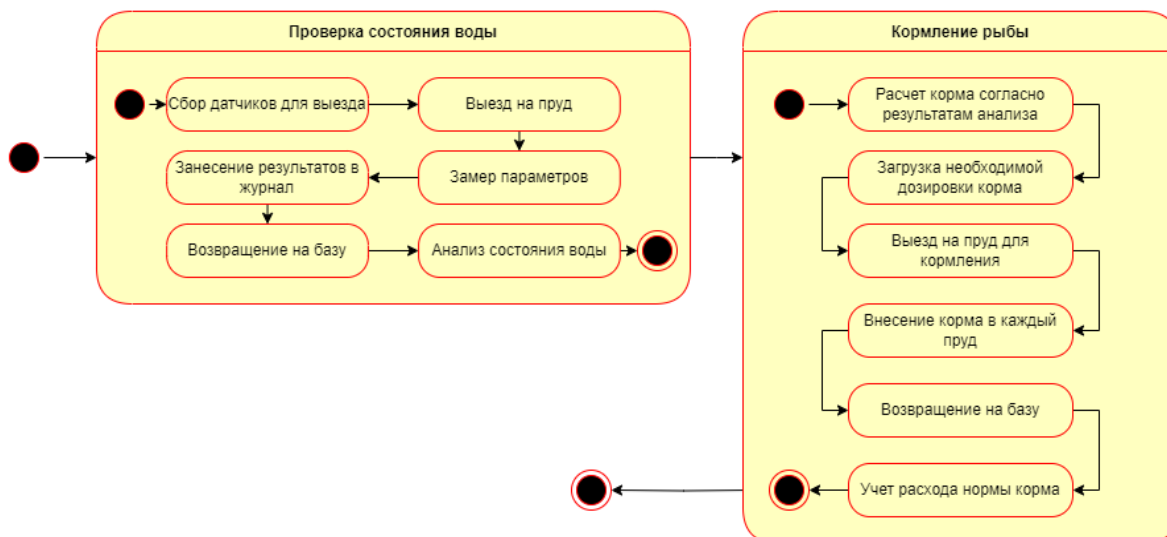


Рисунок 1 – Диаграмма состояния процесса мониторинга и кормления рыбы

Данные процессы требуют колоссальных затрат времени. В среднем процесс мониторинга одного пруда занимает от 15 минут, а процесс кормления от 30 минут [6].

Именно поэтому предлагается автоматизировать данные процессы, при помощи создания киберфизической системы анализа данных мониторинга.

Разработка киберфизической системы анализа данных мониторинга

Киберфизическая система — это система, в которой вычислительные и физические компоненты тесно интегрированы и взаимодействуют друг с другом в реальном времени [7].

Система анализа данных мониторинга прудового хозяйства включает в себя два модуля:

1. Кормораздатчик с датчиками качества воды;
2. Модуль расчета нормы кормления и анализа состояния воды.

Кормораздатчик в автоматическом режиме выполняет перемещение по пруду в указанные точки. На каждой точке производится замер параметров воды и отправка результата на сервер. Затем производится выдача корма, согласно полученного ответа от сервера. После выполнения данной процедуры на всех точках пруда, кормораздатчик возвращается на место базирования (рисунок 2.).



Рисунок 2 – Диаграмма состояний кормораздатчика

Модуль расчета нормы кормления и анализа состояния воды после получения данных с кормораздатчика производит расчет дозировки корма и отправляет результат на кормораздатчик. Далее осуществляет анализ параметров воды, таких как температура, рН и уровень растворенного кислорода. Полученные результаты заносятся в базу данных. Затем система выполняет прогнозирование расхода корма и роста рыбы и выводит вместе с рекомендациями по содержанию рыбы (рисунок 3).

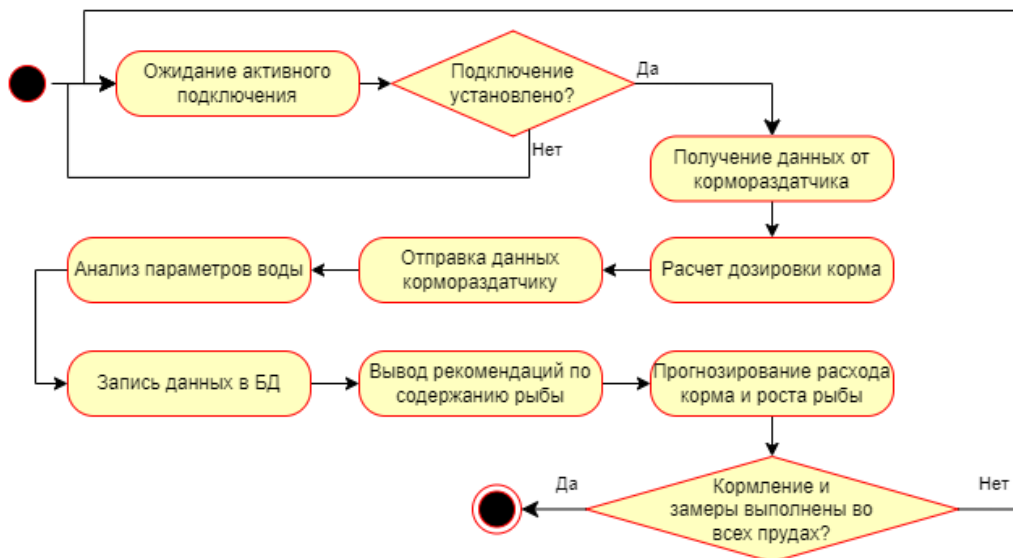


Рисунок 3 – Диаграмма состояний модуля расчета нормы кормления и анализа состояния воды

Заключение

В результате работы исследован процесс мониторинга и создана киберфизическая система анализа данных мониторинга прудового хозяйства.

Таким образом, киберфизический подход к реинжинирингу процесса мониторинга прудового хозяйства является инновационным решением, которое значительно повышает точность, скорость и эффективность управления. Внедрение таких технологий открывает новые возможности для оптимизации процессов, минимизации рисков и повышения общей производительности прудов, что особенно важно в условиях глобального изменения климата и растущего спроса на рыбные ресурсы.

Литература

1. Хаммер М. Реинжиниринг корпорации : манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Д. Чампи ; пер. с англ. Ю. Е. Корнилович. – 4-е изд. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2011.
2. Вакуленко, Д. В. Реинжиниринг бизнес-процессов агропромышленных предприятий в условиях сквозной цифровой трансформации / Д. В. Вакуленко, А. Г. Кравец // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2021. – № 3. – С. 115-125.
3. Борзин, Р.Ю. Управление киберфизическими системами на основе анализа данных мониторинга: отрасли применения, проблемы и методы их решения / Р.Ю. Борзин, А.Г. Кравец // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. - 2024. - № 1 (65). - С. 62-77.
4. Басонов, О. А. Справочник прудово-озерного рыбоводства : Учебное пособие для студентов вузов / О. А. Басонов, Т. П. Станковская, А. А. Ершова. – Москва : ООО «Издательско-книготорговый центр «Колос-с», 2023. – 95 с. – ISBN 978-5-00129-304-0.
5. Щербина, М. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре / М. А. Щербина, Е. А. Гамыгин. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 2006. – 360 с. – ISBN 5-85382-237-3.
6. Cyber-Physical Systems in Pond Aquaculture / В.Е. Костин, А.А. Силаев, Р.Ю. Борзин, А.Г. Кравец // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon) (Sochi, Russian Federation, 25-29 March 2024) : Proceedings. – Publisher: IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), 2024. – P. 114-120. – DOI: 10.1109/SmartIndustryCon61328.2024.10515802.
7. Tiwari, D.D.; Naskar, S.; Sai, A.S.; Palleti, V.R. Attack Detection Using Unsupervised Learning Algorithms in Cyber-Physical Systems. In Computer Aided Chemical Engineering; 2021; Vol. 50.

СЦЕНАРНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Рогожников Е.Д., Кравец А.Г.
ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет
+7 (905) 396-24-22, rgzhnkv@bk.ru

В данном исследовании представлен сценарный подход к повышению эффективности управления энергетическими киберфизическими системами (ЭКФС). ЭКФС, объединяя физические компоненты (электросети), с цифровыми технологиями (датчики, системы мониторинга и алгоритмы анализа данных), позволяет распределять энергию между различными потребителями. Повышение эффективности управления ЭКФС направлено на снижение потерь энергии за счёт более эффективного распределения энергии, основываясь на данных, полученных после мониторинга. Цикличность процесса повышения эффективности ЭКФС обеспечивает постоянное улучшение системы на основе анализа результатов предыдущих стратегий.

Ключевые слова: энергетические киберфизические системы, управление энергопотреблением, умные сети электроснабжения, энергоэффективность

Scenario approach to improving the efficiency of energy cyber-physical system control. Rogozhnikov E.D. Kravets A. G., Volgograd State Technical University

This study presents a scenario-based approach to improve the control efficiency of energy cyber-physical systems (ECPS). ECPS, by combining physical components (power grids) with digital technologies (sensors, monitoring systems and data analysis algorithms), allows the distribution of energy to different consumers. Improving the efficiency of ECPS control aims at reducing energy losses through more efficient energy distribution, based on the data obtained after monitoring. The cyclical process of ECPS efficiency improvement ensures continuous improvement of the system based on analyzing the results of previous strategies.

Keywords: energy cyber-physical systems, energy management, smart grids, energy efficiency

Введение

В эпоху цифровых технологий и глобальных процессов энергетические системы сталкиваются с необходимостью адаптации к динамическим внешним условиям. Появление энергетических киберфизических систем (ЭКФС) позволило удовлетворить потребность в более интеллектуальных, гибких и устойчивых подходах к управлению энергопотреблением. Такие системы объединяют в себе физические компоненты, такие как электросети, с цифровыми технологиями, включая датчики, системы мониторинга и алгоритмы анализа данных. Использование ЭКФС позволяет осуществлять контроль за динамическими параметрами, что способствует сокращению потребления природных ресурсов для производства энергии [1].

В условиях, когда внешние факторы, такие как погодные условия, спрос на энергию и аварийные ситуации, могут существенно влиять на работу энергосистем, разработка эффективных стратегий управления становится все более актуальной, поскольку позволяет снизить потери энергии и повысить надежность и отказоустойчивости энергосистемы в целом [2]. Применение ЭКФС позволит решать нерутинные задачи на высоком уровне, с анализом большого массива данных, которые человек проанализировать не в состоянии [3].

Предлагаемый подход позволит не только повысить эффективность использования энергетических ресурсов, но и обеспечить гибкость системы, необходимую для адаптации к непредсказуемым изменениям внешних условий. В итоге, это приведет к значительному улучшению качества энергоснабжения и снижению эксплуатационных расходов, что является ключевым фактором в современных энергосистемах.

Управление ЭКФС

Основная цель управления ЭКФС заключается в поддержании стабильного и надежного электроснабжения.

На сегодняшний день процесс управления ЭКФС включает в себя следующие этапы:

1. Мониторинг состояния энергетической системы: Сбор данных с датчиков о текущих параметрах системы, таких как напряжение, ток, температура и другие.
2. Анализ данных и прогнозирование: Оценка текущего состояния системы и прогнозирование возможных изменений.
3. Распределения ресурсов: Корректировка работы системы для минимизации потерь и обеспечения стабильного энергоснабжения.
4. Реагирование на внештатные ситуации: Введение корректирующих действий при изменении внешних условий или при возникновении аварийных ситуаций.

На рисунке 1 представлена диаграмма состояния процесса управления ЭКФС, в которой отражены все эти этапы. Нужно понимать, что данный процесс осуществляется непрерывно в ходе работы системы, поскольку внешняя среда постоянно изменяется и изменение этой среды постоянно оказывает влияние на ЭКФС.

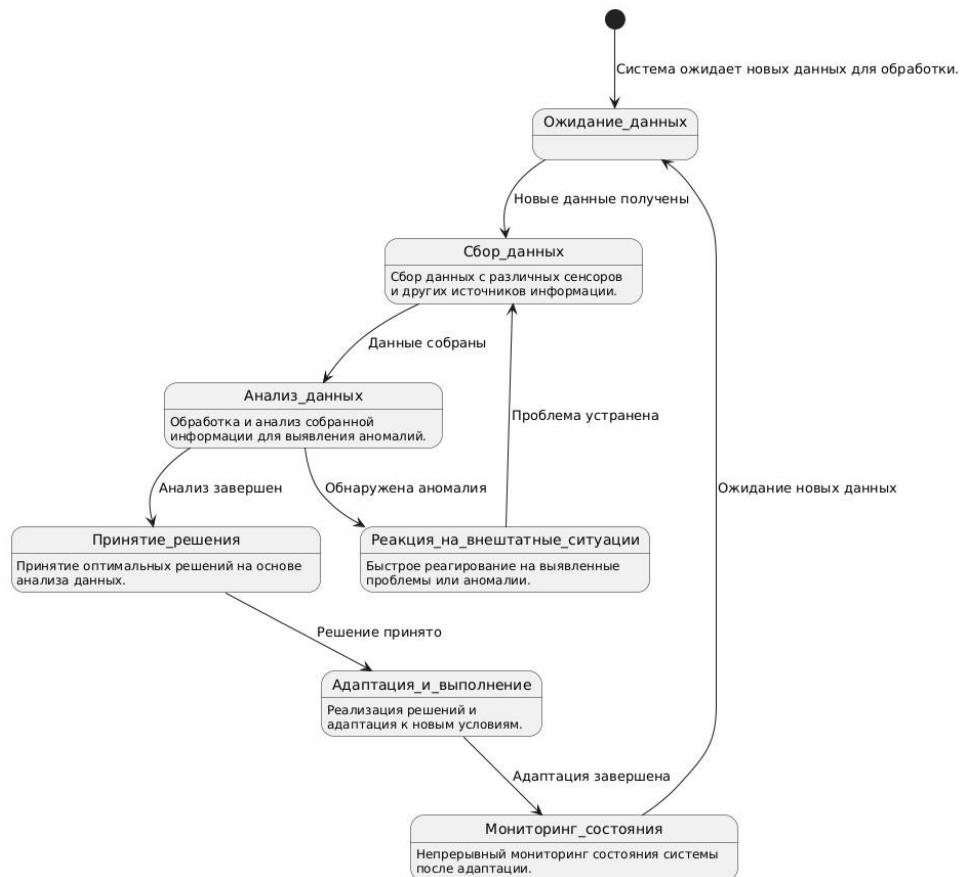


Рисунок 1 – Диаграмма состояния управления ЭКФС

Управление ЭКФС осуществляется циклически, обеспечивая непрерывный мониторинг и адаптацию системы.

Некоторые из этих процессов сложно поддаются автоматизации, поэтому человек все равно должен осуществлять контроль за такими процессами, как мониторинг состояния и реакция на внештатные ситуации. Остальные процессы могут осуществляться самой системой. Однако со временем и эти процессы могут быть полностью автоматизированы. ЭКФС позволяют операторам системы лучше понимать, прогнозировать и реагировать на возникающие проблемы, минимизируя риски аварий и обеспечивая более надежное и стабильное электроснабжение [4].

Таким образом, процесс управления ЭКФС включает в себя сбор данных с различных датчиков и других источников информации, анализ текущих параметров системы, прогнозирование изменений, корректировку работы системы и реакцию на аварийные ситуации. Процесс подразумевает использование как автоматизированных систем, так и ручного контроля для обеспечения надежности.

Повышение эффективности управления ЭКФС

Повысить эффективность ЭКФС при помощи внедрения последовательных этапов: сбора данных о потреблении энергии, анализ эффективности, разработку стратегий, их применение и оценку результатов. Таким образом, чтобы система вносила коррективы на основе оценки эффективности предыдущих стратегий, это делает процесс более адаптивным и саморегулируемым, что позволяет достичь оптимального потребления энергии и использования ресурсов.

Повышение эффективности системы достигается за счёт снижения потерь энергии за счёт её распределения и, соответственно, снижения энергозатрат на производство энергии [5]. Диаграмма состояния повышения эффективности управления ЭКФС представлена на рисунке 2.

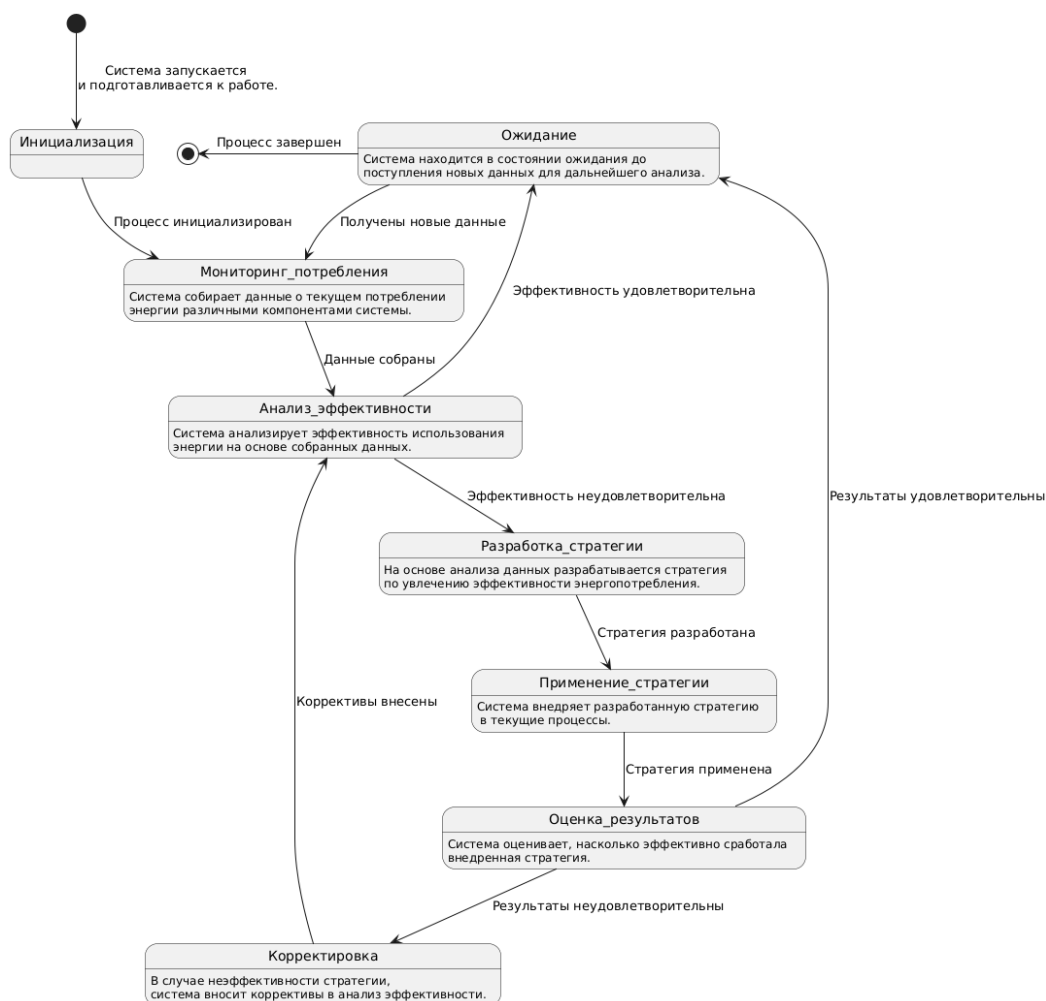


Рисунок 2 – Диаграмма состояния повышения эффективности управления ЭКФС

Повышение эффективности управления ЭКФС представляет из себя сложный автоматизированный процесс, который можно разбить на несколько основных этапов:

Во время инициализации происходит запуск основных компонентов для оценки эффективности ЭКФС. Система при помощи датчиков и различных инструментов получает данные о текущем потреблении энергии и внешних факторов, влияющих на потребление. Мониторинг потребления позволяет получить полную картину того, как в текущий момент происходит потребление энергии.

Собранные данные подвергаются анализу эффективности. Данный этап самый сложный в процессе повышения эффективности. Необходимо выяснить, на основе программных алгоритмов, является ли текущая эффективность потребления энергии удовлетворительной или нет. Данный процесс осуществляется при помощи различных алгоритмов для выявления паттернов и неэффективных областей. Из-за разнообразия и гетерогенности данных потребуются целый комплекс методов [6,7].

В зависимости от оценки эффективности принимается решение: нужно ли вносить изменения или нет, переходя в процесс ожидания новых данных для анализа. Нужно учитывать, что со временем методы оценки эффективности могут меняться, к примеру то, что изначально было приятно за хорошую оценку, в процессе может оказаться неудовлетворительной. Для этого и необходима цикличная работа процесса повышения эффективности.

Если анализ эффективности показал, что эффективность энергопотребления неудовлетворительна, разрабатывается стратегия повышения эффективности. Этот процесс основывается на полученных данных и включает формирование конкретных рекомендаций по корректировке работы ЭКФС. Далее разработанная стратегия внедряется в существующие процессы системы. Это может быть: изменение параметров работы оборудования, перераспределение энергии или внедрение новых технологий, например, распределенных источников энергии с системами накопления и хранения энергии [8]. Применение стратегии позволяет непосредственно улучшить эффективность энергопотребления на практике.

После внедрения стратегии необходимо оценить эффективность принятых мер. Этот этап критически важен для подтверждения того, что изменения привели к ожидаемым улучшениям. Система анализирует данные постфактум, чтобы определить, были ли достигнуты поставленные цели. Если результаты оценки показывают, что внедренная стратегия не достигла желаемых результатов, возможно будет необходимо внести коррективы. Это может включать повторную настройку параметров, изменение подходов к управлению энергопотреблением или внедрение дополнительных мер. Возможно, что и после корректировки результаты эффективности не будут удовлетворены, в этом случае возможен повторный пересчет эффективности и разработка новой стратегии с учётом уже имеющегося опыта.

Таким образом, процесс повышения эффективности управления ЭКФС представляет собой циклический и самообучаемый подход к управлению энергопотреблением.

Заключение

Представленный в данном исследовании сценарный подход к управлению ЭКФС в условиях изменяющихся внешних факторов позволит повысить эффективность и надежность энергетических систем. Процесс повышения эффективности является циклическим, что позволяет системе постоянно улучшаться на основе предыдущих оценок, что приводит к сокращению потерь энергии и снижению ресурсных затрат на её производство. Снижение затрат на производство энергии и повышения надежности ЭКФС является критически важным для современной энергетике.

Литература

1. Рогожников, Е. Д. Управление энергетической киберфизической системой в условиях динамической внешней среды / Е. Д. Рогожников // Наука Юга России: достижения и перспективы : Тезисы докладов XX Всероссийской ежегодной молодежной научной конференции с международным участием, Ростов-на-Дону, 15–26 апреля 2024 года. – Ростов-на-Дону: Южный научный центр РАН, 2024. – С. 281. – EDN DTGECH.
2. Sahu, A., Davis, K., Huang, H., Umunnakwe, A., Zonouz, S. & Goulart, A. (2023) Design of Next-Generation Cyber-Physical Energy Management Systems: Monitoring to Mitigation. IEEE Open Access Journal of Power and Energy. 10. doi:10.1109/OAJPE.2023.3239186.
3. Плахотников, Д. П. Построение информационно-аналитических средств киберфизических систем / Д. П. Плахотников // Проектирование и обеспечение качества информационных процессов и систем : Сборник докладов Международной конференции, Санкт-Петербург, 15–17 марта 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), 2022. – С. 45-49. – EDN MNNMRT.
4. Рысин, А. В. Киберфизические системы в системах электроснабжения / А. В. Рысин // Исследовательский проект года 2023 : Сборник статей II Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 13 ноября 2023 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства "Новая Наука", 2023. – С. 37-44. – EDN VPWUJT.
5. Grosch, B., Fuhrlander-Völker, D., Stock, J. & Weigold, M. (2022) Cyber-physical production system for energy-flexible control of production machines. In: Procedia CIRP. 2022 p. doi:10.1016/j.procir.2022.04.037.
6. Рогожников, Е. Д. Обзор основных проблем внедрения и управления киберфизическими системами / Е. Д. Рогожников, А. Г. Кравец // Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты : Сборник трудов Национальной научно-практической конференции, Москва, 10–11 ноября 2022 года / Под редакцией С.У. Увайсова. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2022. – С. 499-504. – EDN PCTLEV.
7. Нашивочников, Н. В. Применение аналитических средств в системе операционного мониторинга и анализа безопасности кибер-физических систем для предприятий топливно-энергетического комплекса / Н. В. Нашивочников, А. А. Лукашин, А. А. Большаков // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2019. – Т. 2. – С. 63-67. – EDN VGLQXI.
8. Бариков, Л. Н. Кибер-физические системы управления ветроэнергетическими генераторами / Л. Н. Бариков // Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве : Сборник тезисов докладов II Международного форума, Санкт-Петербург, 09 ноября 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. – С. 317-319. – EDN FKRDYY.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Саушев А. В., Широков Н. В.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»

Статья посвящена вопросу повышения живучести судовых электроэнергетических систем. Показано, что существует широкий круг отказов элементов системы, при которых она переходит в новое техническое состояние через аварийную ситуацию, связанную с обесточиванием судна и характеризуется нулевой живучестью. Рассмотрен пример ситуации, при которой правильная работа всех средств защиты судовой электростанции привела к потере электроснабжения сети. Для решения данной проблемы предложено использовать методы предупредительного управления, показана целесообразность и перспективность их применения для повышения живучести судна.

Ключевые слова: судовая электроэнергетическая система, живучесть, предупредительное управление, генераторный агрегат, оперативная идентификация технического состояния.

Promising method to increase survivability of ship electric power system. Saushev A.V., Shirokov N.V., State university of sea and river fleet of a name of the admiral S. O. Makarov.

The article is devoted to the issue of increasing the survivability of marine electric power systems. It is shown that there is a wide range of failures of the system elements, in which it enters a new technical condition through an emergency situation associated with the de-energization of the vessel and is characterized by zero survivability. An example of a situation in which the correct operation of all protective equipment of a ship's power plant led to a loss of power supply to the network is considered. To solve this problem, it is proposed to use warning control methods, the feasibility and prospects of their application to increase the survivability of the vessel are shown.

Key words: ship electric power system, survivability, warning control, generator set, operational identification of technical condition.

Судовые электроэнергетические системы (СЭЭС) представляют собой сложные технические устройства, от живучести которых напрямую зависит безопасность работы всего судна. При этом под живучестью будем понимать способность СЭЭС адаптироваться к любым неблагоприятным воздействиям (НВ) посредством изменения своей структуры и (или) параметров с целью обеспечения безаварийного снабжения электроэнергией надлежащего качества ответственных потребителей, обеспечивающих ход и управление судном, работу пожарных, балластных и осушительных насосов, средств радионавигации и спасения экипажа, а для кораблей ВМФ – еще и выполнение боевой задачи.

В данном случае под НВ будем понимать недопустимое увеличение нагрузки СЭЭС или отказ любого из элементов системы, способный вызвать обесточивание судна. При этом неважно, по какой причине произошло НВ – в результате старения оборудования, ошибочных действий экипажа или воздействий противника, важно, что оно произошло и СЭЭС, обладающая живучестью, должна перейти в новое техническое состояние, при котором будут функционировать все жизненно важные системы судна, минуя аварийную ситуацию.

В реальности, как показано, например, в работе [1], современные СЭЭС не в полной мере соответствуют требованиям живучести, так как существующие средства защиты срабатывают только в момент возникновения аварийной ситуации, что во многих случаях не позволяет избежать перерыва в электроснабжении судна. В этой связи характерен инцидент, произошедший с финским грузопассажирским паромом “Mariella” при отходе из порта Стокгольм 5 ноября 2018 года [2]. Так как работа в порту сочетается с повышенной опасностью столкновений из-за большой интенсивности движения, то с целью повышения надежности электроснабжения судна были запущены и включены на параллельную работу все три генераторных агрегата (ГА), хотя по условиям нагрузки хватило бы мощности только одной машины. Через несколько минут третий ГА стал самопроизвольно увеличивать нагрузку, разгружая остальные агрегаты, переводя их в двигательный режим. Далее ситуация развивалась следующим образом. Поскольку каждая судовая электростанция в соответствии с Правилами Регистра [3] оборудована средствами защиты от обратной мощности, срабатывающими в соответствии с логическим выражением, представленном в [4]:

$$F_i = (N_{rev i} > N_{rev i \text{ lim}}) \wedge (t_{rev i} > t_{rev i \text{ lim}}), \quad (1)$$

где F_i – событие, заключающееся в отключении i -го ГА; $N_{rev i}$ – текущее значение обратной мощности i -го ГА; $N_{rev i \text{ lim}}$ – допустимое значение обратной мощности i -го ГА; $t_{rev i}$ – время, в течение которого i -й

ГА находится в двигательном режиме при выполнении условия $N_{rev i} > N_{rev i \lim}$; $t_{rev i \lim}$ – выдержка времени при срабатывании защиты i -го ГА., а также в соответствии с формулой (1), первый и второй ГА были отключены от сети защитой от обратной мощности. При этом третий агрегат начал увеличивать скорость вращения вала двигателя и через несколько секунд был отключен защитой от превышения частоты сети, произошло обесточивание судна.

По результатам обследования оборудования было установлено, что причиной аварийной ситуации на судне стало «залипание» исполнительного реле электронного блока управления судовой электростанцией в положении на увеличение подачи топлива в дизель третьего ГА. В данном случае, вне зависимости от сигналов системы автоматического управления СЭЭС, произошло увеличение нагрузки генератора №3 при его параллельной работе, а после отключения первой и второй машин – неконтролируемое увеличение частоты вращения вала двигателя. При этом выявленное НВ, приведшее к обесточиванию судна, является лишь одной из неисправностей СЭЭС, входящих в кластер дефектов, вызывающих несанкционированное увеличение подачи топлива в один из работающих ГА [5].

Появление подобного рода отказов приводит к тому, что все штатные системы защиты СЭЭС срабатывают в соответствии со своими техническими условиями, но не только предотвращают, возникновение аварийной ситуации, но в известном смысле способствуют ее возникновению и развитию. При этом можно говорить о низкой живучести системы, запас живучести (d) которой, для СЭЭС, функционирующей в рассматриваемом режиме работы, в соответствии с материалами статьи [6], может быть рассчитан по формуле:

$$d=C-1, \quad (2)$$

где C – минимальное число дефектов, приводящих к обесточиванию судна.

Как видно из выражения (2) при подобных отказах элементов СЭЭС имеют нулевую живучесть.

В тоже время, применение таких традиционных средств повышения надежности и обеспечения живучести систем как функциональное резервирование в данном случае оказывается не эффективным и даже вредным, так как с увеличением числа параллельно работающих агрегатов повышается вероятность возникновения отказов, приводящих к несанкционированному увеличению подачи топлива в один из ГА СЭЭС. При этом имеется интервал времени (t_{em}) от момента возникновения отказа до отключения третьей машины и обесточивания судна, в течение которого предоставляется возможность таким образом воздействовать на систему, чтобы перевести ее в новое состояние функционирования, минуя аварийную ситуацию.

Управление, осуществляемое в течение времени t_{em} по предупредительным сигналам, информирующим о потере работоспособности СЭЭС, с целью предотвращения аварийной ситуации называется предупредительным [4]. При этом процесс технического диагностирования, результатом которого является получение предупредительных сигналов, предназначенных для формирования управляющих воздействий и необходимых для безаварийной работы СЭЭС в случае отказов ее элементов или ошибки обслуживающего персонала в статье [7] назван оперативной идентификацией (ОИ) ТС СЭЭС. В рамках ОИ можно выделить три основных этапа.

На первом этапе фиксируют момент появления НВ. В соответствии материалами, изложенными в работе [8], диагностическим признаком неработоспособного состояния СЭЭС (I_0), на основании которого можно с уверенностью прогнозировать переход хотя бы одного из агрегатов в двигательный режим, является ситуация, при которой происходит совпадение двух событий. Событие 1. Рост нагрузки только одного из работающих в параллель агрегатов (L_1). Событие 2. Превышение абсолютной величиной разности нагрузок ГА ($|\Delta P|$) заданного значения при продолжающемся ее росте (L_2). При этом условие перехода СЭЭС в неработоспособное состояние можно представить в виде логического уравнения:

$$I_0 = L_1 \wedge L_2. \quad (3)$$

На втором этапе при наступлении события I_0 , в случае необходимости, осуществляют превентивную разгрузку сети, например, способами, описанными в [9, 10]. В рассматриваемом примере нагрузка сети была меньше номинальной мощности одного ГА, поэтому отключения потребителей не требовалось.

На третьем этапе определяют агрегат, нагрузка которого увеличивается (событие L_i) и идентифицируют его как ГА, отключение которого (событие F_i) позволит СЭЭС перейти в новое состояние, минуя аварийную ситуацию.

В этой связи, принимая во внимание выражение (3), можно записать:

$$F_i = I_0 \wedge L_i. \quad (4)$$

Заметим, что третий ГА работоспособен, но его отключение, в соответствии с выражением (4) позволит избежать обесточивания судна.

В данном случае будет выполнено условие обеспечения предупредительного управления, сформулированное в [5], согласно которому, применительно к рассматриваемому случаю с судном “Mariella”, ОИ ТС СЭЭС и реализация необходимого воздействия на систему должны осуществляться до перехода первого и второго ГА в двигательный режим для исключения возможности их отключения защитой и обесточивания сети. Данное условие можно записать в виде неравенства:

$$t_{qsd} + t_{sp} < t_{em}, \quad (4)$$

где t_{qsd} – оперативная продолжительность поиска дефекта (интервал времени от момента возникновения до обнаружения неисправности); t_{sp} – время, необходимое для принятия решения и отключения третьего ГА.

В работе [4] сформулирован метод и изложены алгоритмы предупредительного управления СЭЭС в случае формирования сигнала несанкционированного уменьшения подачи топлива в первичный двигатель ГА, а в [9] и [10] для случаев выхода из строя системы охлаждения или смазки дизеля. Кластеры дефектов, рассмотренные в данных работах, составляют существенную часть из возможных отказов СЭЭС, при которых использование штатных средств защиты от обратной мощности и перегрузки сопряжено с возникновением аварийной ситуации. В то же время применение подхода предупредительного управления позволит избежать обесточивания судна. При этом в работе остается хотя бы один из ГА, мощности которого в соответствии с [3], достаточно для обеспечения электроэнергией всех ответственных потребителей на борту судна. В связи с этим можно говорить о целесообразности и перспективности применения методов предупредительного управления для повышения живучести СЭЭС.

Литература

1. Саушев А. В., Широков Н. В. Методы, модели и алгоритмы предупредительного управления состоянием автономных электроэнергетических систем: монография. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова.– 2023. – 212с.
2. Саушев А. В., Смоленков А. М., Широков Н. В. Превентивная защита судовой электроэнергетической системы от работы генераторных агрегатов в двигательном режиме // Вестник Чувашского университета. – 2024. – №2. – С. 130 – 140. DOI:10.47026/1810-1909-2024-2-130-140.
3. Правила классификации и постройки морских судов. СПб.: РМРС, 2017. 807 с.
4. Саушев А. В., Широков Н. В. Превентивная защита автономных электроэнергетических систем от обратной мощности на основе предупредительного управления // Электротехника. – 2023. – №2. – С.34-40. DOI: [10.53891/00135860_2023_2_34](https://doi.org/10.53891/00135860_2023_2_34).
5. Саушев А. В., Широков Н. В. Оперативная идентификация технического состояния судовой электростанции для решения задач предупредительного управления // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2022. – . 14. – № 2. – С. 306–318. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-2-306-318.
6. Черкесов Г. Н., Недосекин А. О. Описание подхода к оценке живучести сложных структур при многофазовых воздействиях высокой точности // Надежность. – 2016. – Т. 16. – №. 2. – С. 3-15.
7. Saushev A., Shirokov N., Butsanets A. Rapid identification of the technical condition of a marine electric power system // Journal-of-Physics-Conference-Series-1742-6596. Doi:10.1088/1742-6596/2061/1/012032.
8. Широков Н. В. Превентивная защита от обратной мощности судовых электроэнергетических систем при отказе их элементов //Вестник ПНИПУ. – 2024. – №2. С.61– 81. DOI: 10.15593/2224-9397/2024.2.04.
9. Саушев А. В., Широков Н. В. Универсальный способ превентивной разгрузки судовой электроэнергетической системы // [Известия СПБГЭТУ ЛЭТИ](https://doi.org/10.32603/2071-8985-2023-16-1-85-93) . – 2023. – Т. 16. – №. 1. – С. 85-93. DOI: [10.32603/2071-8985-2023-16-1-85-93](https://doi.org/10.32603/2071-8985-2023-16-1-85-93).
10. Saushev A., Shirokov N. A promising way of preventive deloading of the vessel's electrical power system //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2022. – Т. 363. – С. 01023. DOI: [10.1051/e3sconf/202236301023](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236301023).

СТАНДАРТ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ

Давидов А.О., Халютин С.П.

ООО «Научно-производственное объединение НаукаСофт»,
Ассоциация разработчиков, изготовителей и потребителей средств электропитания «Электропитание»
+7 (495) 255-36-35, contacts@naukasoft.ru

В статье приведены основные аспекты стандарта информационного взаимодействия устройств, разрабатываемых в рамках концепции программы «Электродвижения». Определены процедуры информационного обмена между устройствами, применяемый физический канал для обмена информацией и его параметры, процедуры настройки параметров, алгоритмы запуска системы, применения цифровых паспортов.

Ключевые слова: стандарт, электродвижение, информационное взаимодействие, шина CAN.

The Standard of Information Interface of Devices in Electromotion Systems. Davidov A.O., Khalutyn S.P. Scientific and Production Association NaukaSoft, LLC, Association of Developers, Manufacturers and Consumers of Power Supply Devices «Elektropitanie»

The article presents the main aspects of the standard of information interaction of devices developed within the framework of the concept of the «Electromotion» program. The procedures for information exchange between devices, the physical channel used for information exchange and its parameters, parameter setting procedures, system startup algorithms, and the use of digital passports are defined.

Keywords: standard, electromotion, information interface, CAN bus.

Введение

В 2019 году Ассоциация разработчиков, изготовителей и потребителей средств электропитания «Электропитание» на общем собрании приняла программу «Электродвижение». Основной принцип программы «Электродвижение» – это разработка устройств электродвижения с широким применением платформенных решений. **Платформа, по терминологии программы «Электродвижение»** – это базовая система, состоящая из *объектов* (сущностей), взаимодействующих по определенным (заданным) *правилам* (стандартам) и имеющая потребительские свойства. **Объекты** – это базовые (в первую очередь - технические) элементы, из которых состоит любая система (конечный продукт). **Правила взаимодействия** – это технологии (*технические*) объединения базовых элементов в систему, технологии (*экономические*) формирования бизнес-моделей для конечных продуктов, технологии (*правовые*) применения правовых норм при создании конечных продуктов, технологии (*социальные*) взаимодействия конечных продуктов с людьми и сообществами и др.

Для организации взаимодействия устройств в системах электродвижения, соответствующих требованиям программы «Электродвижение» в Ассоциации «Электропитание» разработан стандарт информационного взаимодействия устройств.

Постановка проблемы

При проектировании любого технического средства, в том числе средств электродвижения принято руководствоваться существующими стандартами, в том числе ГОСТ 2.103-2013 [1] и ГОСТ РВ 15.004-2004 [2]. Проектирование по такому принципу требует в итоге 4,5 – 6 лет для получения серийного образца (см. рис. 1). Применение принципов создания систем электродвижения, согласно программы «Электродвижение» с использованием уже разработанных и испытанных платформ, отвечающим единым стандартам позволит сократить время проектирования до 1,5 – 2 лет.

Для обеспечения возможности применения различных платформ необходимо сформировать единые стандарты, по которым должны работать комплектующие системы независимо от физического принципа, технического устройства или производителя.

Предлагаемое решение проблемы

В данной статье предлагается описание стандарта информационного взаимодействия устройств, разрабатываемых в рамках концепции программы «Электродвижения».

Стандарт «Информационное взаимодействие устройств» определяет процедуры информационного обмена между устройствами, применяемый физический канал для обмена информацией и его параметры, процедуры настройки параметров, алгоритмы запуска системы, применения цифровых паспортов.

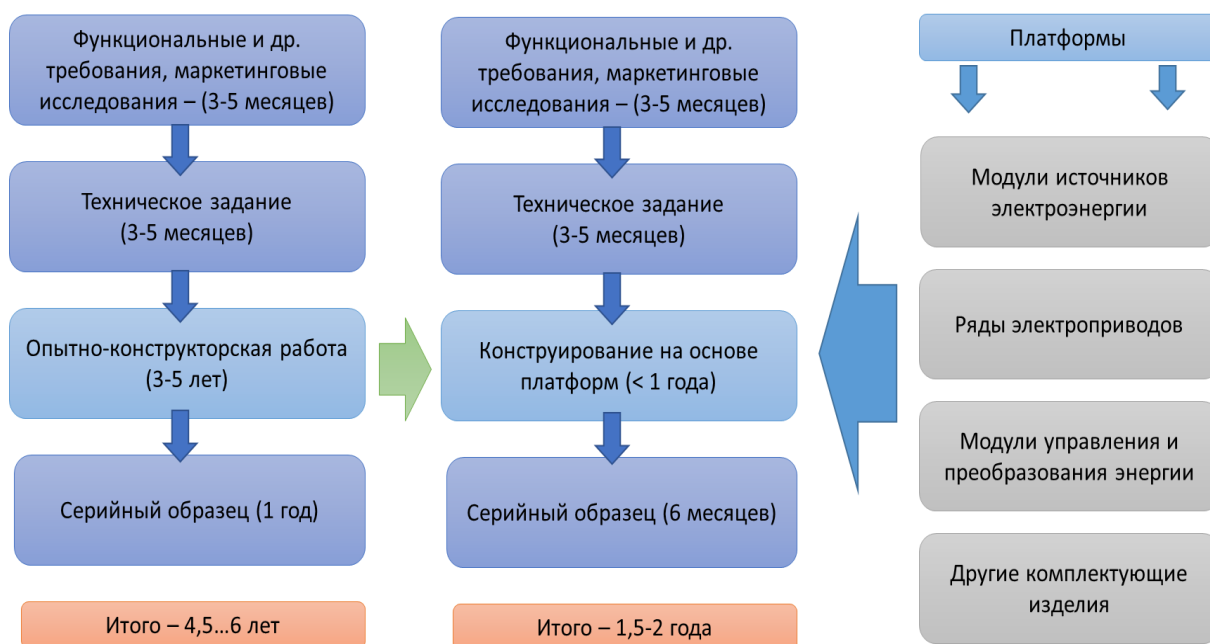
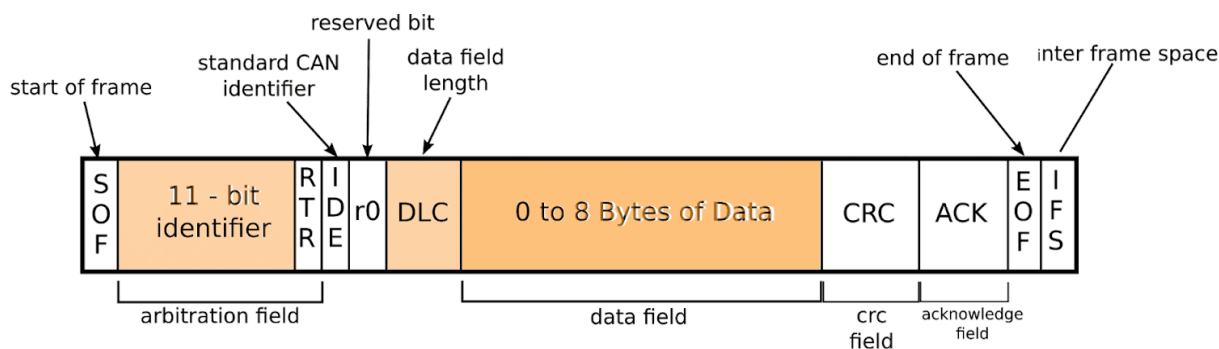


Рисунок 1 – Принципы создания систем электродвижения, согласно программы «Электродвижение»

Предлагается применение стандарта физического канала информационного обмена CAN 2.0 в соответствии с ГОСТ Р ИСО 11898-1-2015 и ГОСТ Р ИСО 11898-2-2015.

Формат сообщения CAN включает служебные данные и непосредственную информацию для передачи (рис. 2).



Standard CAN data message

Start of Frame (SOF): Начальный бит, который указывает начало фрейма.

Arbitration Field: Включает идентификатор сообщения и управляющие биты

Control Field: Содержит информацию о длине данных и другие управляющие биты.

Data Field: Содержит данные, которые необходимо передать. Максимальная длина поля данных составляет 8 байт.

CRC Field: Поле контрольной суммы для проверки целостности данных.

ACK Field: Содержит биты подтверждения получения сообщения другими узлами.

End of Frame (EOF): Конечный бит, который указывает конец фрейма.

Рисунок 2 – Формат сообщения CAN

На рисунке 2 используются:

- 11-bit identifier – адрес устройства отправителя;
- до 8 байт – данные для передачи.

Процедура настройки и конфигурации системы предусматривает следующие этапы:

1. Загрузка цифровых паспортов в устройства

Каждое устройство системы имеет свой цифровой паспорт, в том числе Интеллектуальное распределительное устройство (ИРУ) и модуль связи.

Цифровой паспорт должен включать статическую информацию об устройстве (название, энергетические номинальные параметры, количество каналов управления, параметры управления), а также динамические данные (параметры управления, измеряемые данные и т.п.).

Цифровой паспорт записывается в энергонезависимое постоянное запоминающее устройство и должен сохраняться в отключенном состоянии.

2. Последовательность конфигурации системы

Первичным устройством, которое имеет фиксированное значение идентификатора устройства (id=1), является модуль связи с внешними (по отношению к транспортному средству) устройствами. Через модуль связи к системе распределения подключается конфигуратор – компьютерная программа, реализованная на внешнем компьютере.

Вторым устройством, которое настраивается в системе, является ИРУ, в цифровом паспорте которого прописаны все каналы обмена энергией между источниками и приемниками. Первому ИРУ (в общем случае может использоваться несколько ИРУ для систем с большим количеством каналов обмена энергией) присваивается значение идентификатора устройства id=2.

Далее последовательно подключаются все предусмотренные в системе устройства (источники и потребители энергии, система управления движением и т.п.) в соответствии рассмотренными ниже алгоритмами.

Обобщенная схема взаимодействия ИРУ, конфигулятора и подключаемого устройства показана на рис. 3.

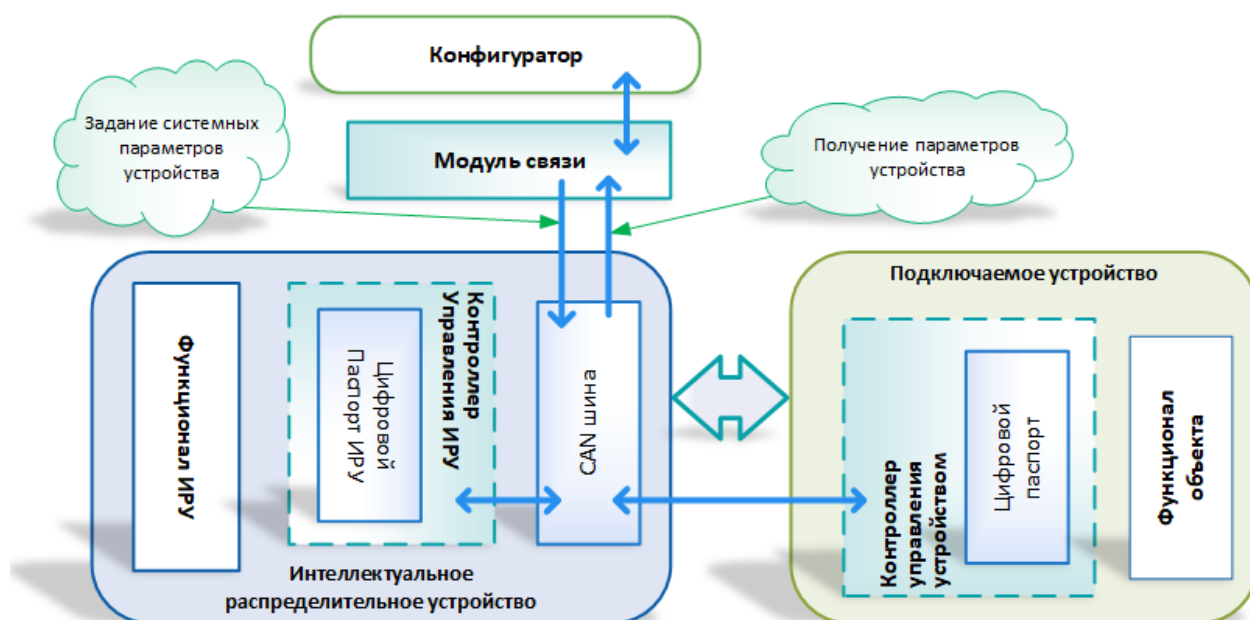


Рисунок 3 – Обобщенная схема взаимодействия ИРУ, конфигулятора и подключаемого устройства

3. Конфигурация Интеллектуального распределительного устройства как элемента системы

Перед конфигурацией новых устройств необходимо провести конфигурацию ИРУ, присвоить уникальный идентификатор устройства, определить каналы управления энергией, ограничения, выполнение условия минимальной конфигурации системы и условия срабатывания защит. Процедура конфигурации ИРУ представлена на рис. 4.

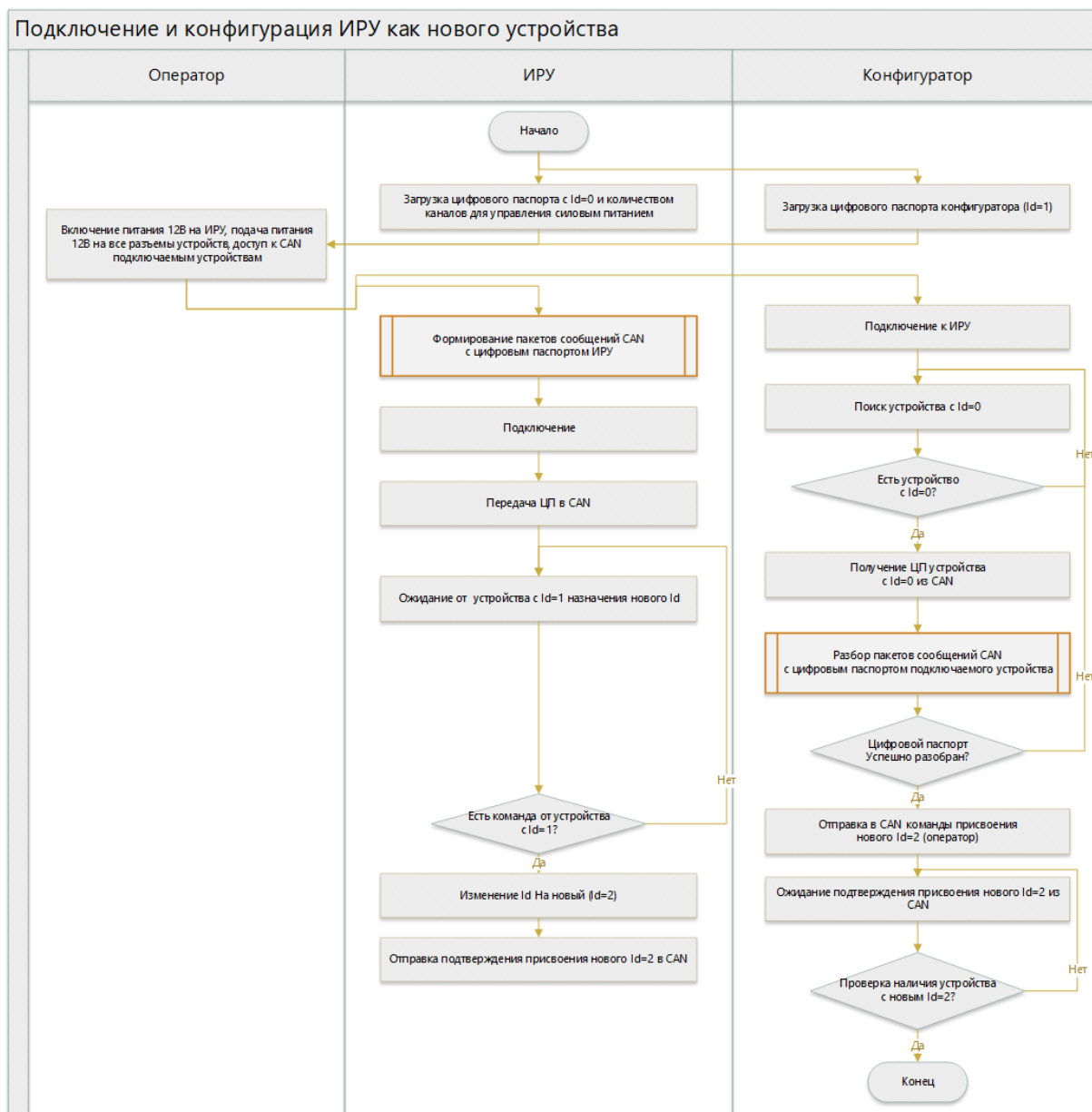


Рисунок 4 – Процедура конфигурации ИРУ

4. Конфигурация нового подключаемого устройства

Конфигурация нового устройства осуществляется после его подключения к одному из разъемов (каналов) ИРУ. После получения электропитания информационного канала контроллер устройства отправляет через шину CAN свой цифровой паспорт в конфигуратор, после чего оператор назначает подключаемому устройству новое значение уникального идентификатора устройства (в исходном состоянии устройство имеет идентификатор id=0), которое отличается от всех имеющихся в системе. Кроме того, оператор задает устройству необходимые параметры, характеризующие это устройство как элемент системы. Процедура конфигурации нового устройства представлена на рис. 5.

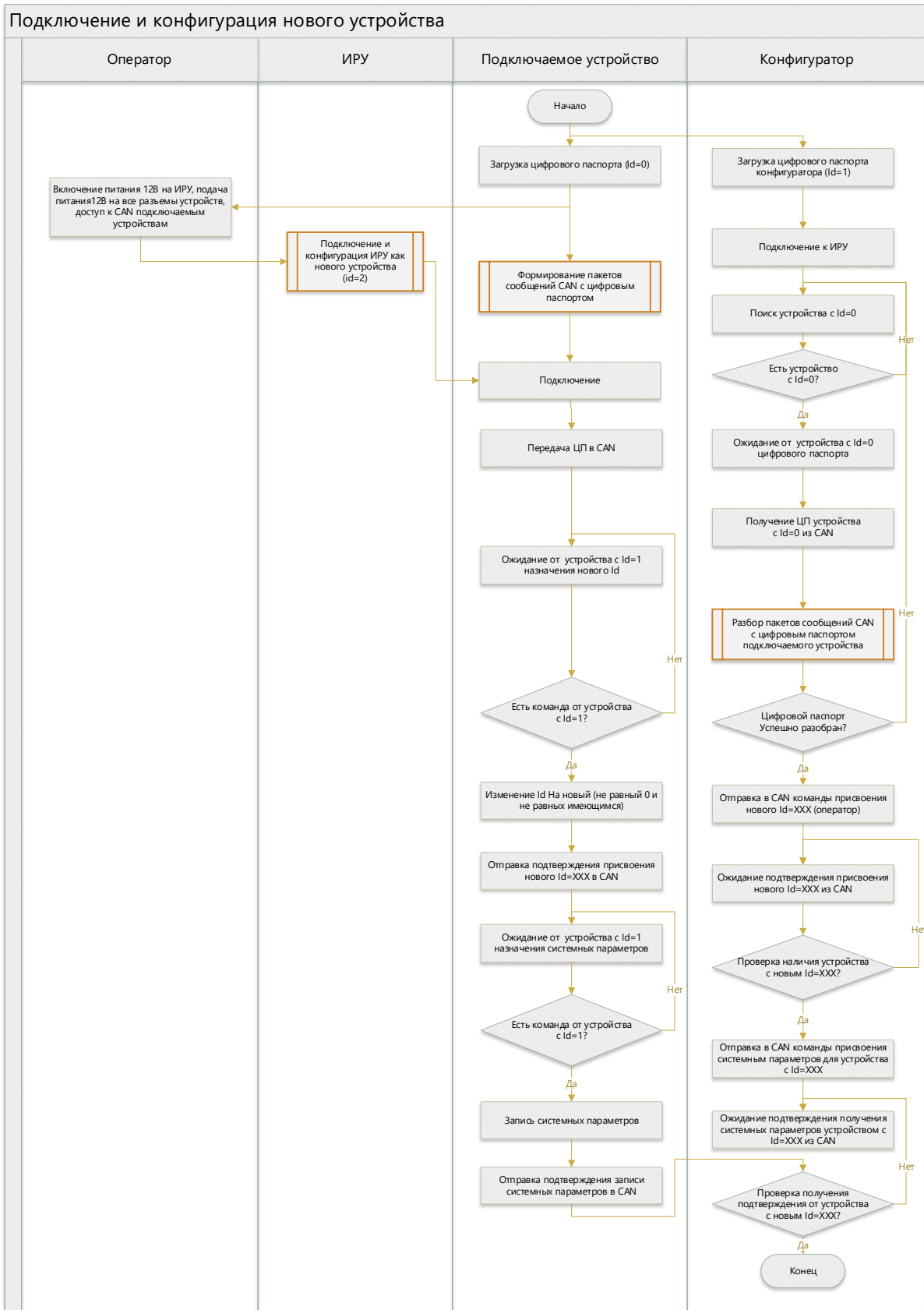


Рисунок 5 – Процедура конфигурации нового устройства

5. Формирование пакетов сообщений CAN с цифровым паспортом

Цифровой паспорт устройства представляется в текстовом формате JSON, который разбивается на пакеты длиной 6 байт. Каждый пакет включает следующую информацию:

- уникальный идентификатор устройства;
- общее количество пакетов в разбиении;
- порядковый номер пакета;
- часть текстовых данных, соответствующая номеру пакета разбиения.

6. Разбор пакетов сообщений CAN с цифровым паспортом подключаемого устройства

При получении пакетов с цифровым паспортом проверяется:

- количество пакетов в соответствии с полем «общее количество пакетов»;
- наличие всех порядковых номеров в разбиении.

Цифровой паспорт устройства формируется путем конкатенации всех частей текстовых данных в соответствии с их порядковыми номерами.

7. Формат пакета данных измерений для передачи в CAN

Пакет данных измерений состоит из адреса устройства и 6 байт данных, которые заполняются в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Формат пакета данных измерений

Адрес	Данные пакета CAN			
	1 байт	2 байт	3 и 4 байты	5 и 6 байты
id устройства	количество каналов измерений	id канала измерения	целая часть измеренного значения	дробная часть измеренного значения

1. Формат пакета управления для передачи в CAN

Пакет данных для управления устройством состоит из адреса устройства, а также данных, состоящих их 3-х байт, содержание которых представлено в таблице 2. Идентификатор канала управления записывается в соответствии с данными паспорта этого устройства.

Таблица 2 – Формат пакета данных для управления

Адрес	Данные пакета CAN		
	1 байт	2 байт	3 байт
id устройства	id устройства, которому отправляется команда	id канала управления	значение команды управления

Заключение

В заключении следует отметить, что предложенный стандарт отработан на пилотном проекте программы «Электродвижения» при разработке цифрового модульного внутреннего электротранспорта.

Литература

1. ГОСТ 2.103-2013 Единая система конструкторской документации. Стадии разработки.
2. ГОСТ РВ 15.004-2004 Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Стадии жизненного цикла изделий и материалов.
3. ГОСТ Р ИСО 11898-1-2015 Транспорт дорожный. Местная контроллерная сеть (CAN). Часть 1. Канальный уровень и передача сигналов.
4. ГОСТ Р ИСО 11898-2-2015 Транспорт дорожный. Местная контроллерная сеть (CAN). Часть 2. Устройство доступа к высокоскоростной среде.

ДУБЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕДОСТОВЕРНЫХ ПОКАЗАНИЙ

Шабанов Р.Р.

Дагестанский государственный технический университет,
shabanov.rasim@bk.ru

Статья посвящена исследованию информационной безопасности различных предприятий ответственного назначения от внешних злонамеренных воздействий. Рассматривается анализ структуры и уязвимые узлы АСУ ТП. Предложен способ выявления и обнаружения ложных показаний в потоке передачи данных от датчиков нижнего уровня Scada-системы.

Ключевые слова: Scada-система, интеллектуальные датчики, информационная безопасность, электрические сигналы.

The article is devoted to the study of information security of various enterprises of responsible purpose from external malicious influences. The analysis of the structure and vulnerable nodes of the automated process control system is considered. A method for detecting and detecting false readings in the data transmission stream from the sensors of the lower level of the Scada system is proposed.

Keywords: Scada system, intelligent sensors, information security, electrical signals.

Введение

На особо важных предприятиях, использующие автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), возникает необходимость защиты информации от несанкционированного доступа к данным и управляющим устройствам. С недавнего времени повысилась активность взлома не только программного комплекса высшего уровня АСУ ТП, называемая Scada-система, но и устройств низшего уровня, таких как программируемые логические контроллеры (ПЛК) и интеллектуальные датчики (ИД). Злоумышленники, воздействуя на интеллектуальные датчики, передают системе управления ложные показания, что приводит к срыву процесса производства и прочим негативным последствиям. Переход на такие уязвимые к внешним злонамеренным воздействиям устройства объясняется тем, что современные технологии производства предъявляют высокие требования к производительности. Поэтому исследование данной проблемы и разработка системы информационной безопасности является актуальной задачей.

Целью исследования является повышение безопасности Scada-системы управления технологическим процессом ответственного назначения

Постановка проблемы

Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

1. Изучить подробно Scada-систему различных предприятий, подвергнувшиеся кибер атаке
2. Провести анализ событий несанкционированного доступа на различных предприятиях за последние 20 лет.
3. Выявить уязвимые устройства в системе
4. Рассмотреть способы обнаружения ложных показаний передаваемых данных

Scada-система представляет собой программно-аппаратный комплекс АСУ ТП, и предназначен для сбора данных с устройств нижнего уровня (датчики ПЛК и пр.), хранения информации, представления оператору в надлежащей форме этих данных, а так же оказывает управляющее воздействие на ход технологического процесса производства. Интеллектуальные датчики находятся на самом нижнем уровне в иерархии. Они передают данные на ПЛК, которые находятся на уровень выше. Именно эти устройства подвергаются кибер-атаке, потому как не имеет столь высокий уровень защиты, как Scada-система. По результатам экспертизы, после различных инцидентов, было установлено, что устройства ПЛК и интеллектуальные датчики были заражены вирусом ещё на этапе их производства.

Предлагаемый способ выявления не соответствия показания интеллектуальных датчиков с действительными значениями заключается в сравнении этих показаний с данными аналоговых датчиков. Возможны два способа сравнения двух сигналов: аналоговый и цифровой. Первый способ подразумевает собой преобразование цифрового сигнала ИД в аналоговый с последующим сравнением с сигналом аналогового датчика посредством дифференциального усилителя ДУ. Однако на данный момент, большинство ИД используют для передачи измеряемой величины, токовую петлю 4-20 мА. Или её усовершенствованный вариант интерфейс HART. В таком случае цифро-аналоговое преобразование не требуется, потому как измеряемая величина соответствует некоторому значению тока в линии. А

цифровой сигнал интерфейса HART, является управляющим и от него можно легко избавиться, применив фильтр нижних частот.



Рис 1. Функциональная схема устройства сравнения показаний датчиков

Здесь схема входной цепи рассчитана на работу с линией передающей аналоговый сигнал (токовая петля) от Интеллектуального датчика (ИД) к ПЛК. Блок входная цепь интеллектуального датчика (ВЦИД) измеряет ток в линии передачи и преобразует в соответствующую величину для дальнейшей обработки в устройстве сравнения (УС). Сигнал аналогового датчика поступает в блок входная цепь аналогового датчика (ВЦАД) и после преобразования поступает на второй вход устройства сравнения. Выходной сигнал УС есть разность значений на его входах. Если разность превосходит предел допуска, то срабатывает оповещение, который информирует оператора о разности показаний датчиков.

Данная схема рассчитана лишь на выявление ложных показаний. Существуют такие технологические процессы, которые требуют незамедлительного реагирования на изменения в технологических процессах. Для решения данной проблемы необходимо автоматизировать переключение считывания данных с ИД на АД. Для этого нужно добавить коммутационный блок в разрыв линии передачи, как показано на рис. 2

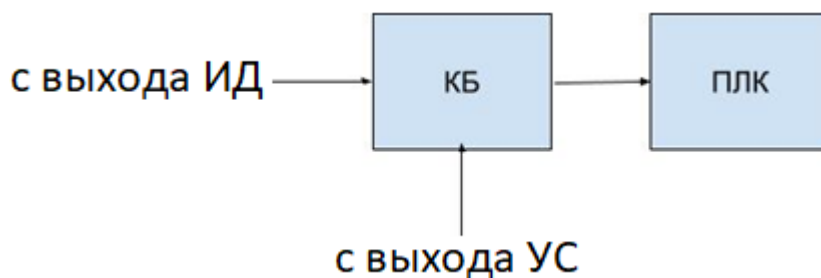


Рис 2. Функциональная схема устройства сравнения показаний датчиков с коммутационным блоком.

Здесь, помимо регистрации разности показаний, устройство сравнения, также осуществляется управление коммутационным блоком, который, в момент фиксации разности показаний, переключает прием входных данных на аналоговый.

Прежде чем приступить к проектированию, рассмотрим сигналы используемых датчиков. Как уже было сказано, большинство ИД используют стандарт токовая петля 4-20 мА. Модулирование тока позволяет передавать информацию с наименьшими потерями, так как по первому закону Кирхгофа ток на любом участке ветви одинаковый. В линии протекает постоянный ток в пределах 4-20 мА. Если используется протокол HART, то в линии так же присутствует высокочастотный модулированный цифровой сигнал на 1,1 кГц и 2,2 кГц, в представляющие собой логические «1» и «0» соответственно. Эти цифровые данные являются управляющими и не влияют на измеряемую величину. Аналоговые датчики формируют на выходе некоторое значение ЭДС, пропорционально значению измеряемой величины. Например, датчики температуры на основе термопары. Существует большое множество разнообразных АД, с различными видами выходных сигналов. Так или иначе, эти сигналы нуждаются в предобработке,

для передачи далее на высокий уровень. В нашем проекте, за первичную обработку отвечают ВЦИД и ВЦАД входная цепь интеллектуального и аналогового датчика.

Входная цепь измеряет ток в линии передач косвенным методом, измеряя падение напряжения на некотором участке линии с известным сопротивлением. Стандарт токовая петля позволяет повысить сопротивления линии до 2 кОм. Поэтому для корректного измерения падения напряжения в разрыв линии целесообразно добавить резистор, номинал которого позволит с достаточной точностью фиксировать изменения падения напряжения.

В данной схеме, сравнение сигналов, после обработки во входной цепи, осуществляется с помощью дифференциального усилителя ДУ на основе операционного усилителя ОУ. На один из входов ДУ подается сигнал от аналогового датчика, на другой от ИД. Для корректной работы необходима настройка, которая устанавливает равновесие напряжений на входе ДУ при одинаковых значениях измеряемой величины. Для этого можно воспользоваться усилителем напряжения. Коэффициент усиления подбирается таким образом, чтоб выходное напряжение входило в динамический диапазон выхода ВЦИД. Усилитель постоянного напряжения на ОУ обладает высоким входным сопротивлением, что уменьшает влияние на выходное значение напряжения аналогового датчика. Поэтому целесообразно использовать именно такой усилитель.

Сигнал с выхода ДУ подается на компаратор, который переключает своё состояние при достижении порогового значения сигнала. Этот порог устанавливается в зависимости от допусков разности показаний датчиков.

В системе автоматизированного проектирования была построена компьютерная модель устройства сравнения описанный выше (рис 3.) Линия передач протокола HART, замещена цепь с источником тока I1. ДУ усилитель построен на двух ОУ модели AD8033AR, на инвертирующий вход которого подан сигнал с аналогового датчика. На неинвертирующий вход компаратора LM393AD подано напряжение порога срабатывания V5, при котором фиксируется критическая разность с показанием ДУ, поданный на инвертирующий вход. При срабатывании на выходе компаратора устанавливается напряжение V4 равный 5В.

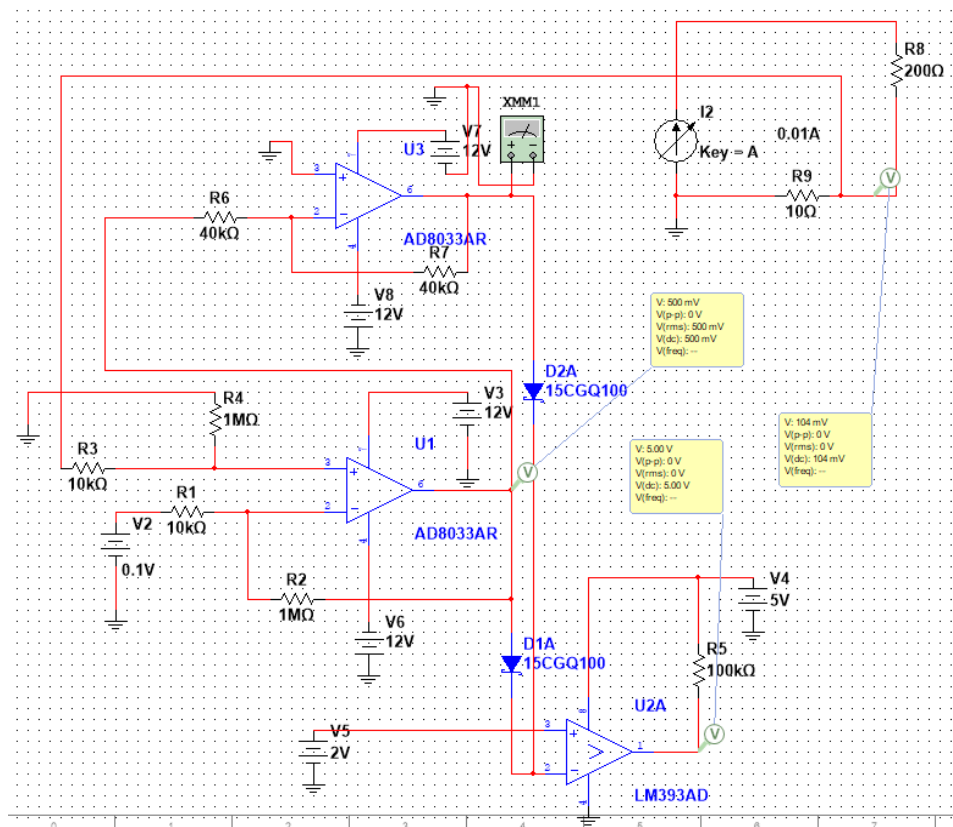


Рис. 3 Компьютерная модель схемы сравнения сигналов датчиков в программе Multisim. а) с разницей показаний в пределах допуска, б) с фиксацией выхода за пределы допуска.

Заключение. Предлагаемый способ сравнения показаний датчиков позволит повысить информационную безопасность Scada-систем управления технологических процессов, как от злонамеренных воздействий, так и от технического сбоя работы ИД.

Литература

1. А. Третьяков, А. Н. Пчелинцев и др. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы : учебное пособие – Тамбов, 2015. – 160 с.
2. Федоров Ю.Н. Основы Построения АСУТП взрывоопасных производств. В двух томах. Т.2 «Проектирование». – М.: Синтег, 2006. – 632 с.: ил.
3. Безукладников И. И., Кон Е. Л. Проблема скрытых каналов в промышленных информационно-управляющих и инфокоммуникационных сетях // Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 7. С. 61–64.
4. Павлов, В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств : учебник для вузов / В.Н. Павлов, В.Н. Ногин.— 2-е изд., испр.— Москва : Горячая линия-Телеком, 2001.— 320 с.— ISBN 5-93517025-6.
5. Тарасов В.Б. Святкина М.Н. Интеллектуальные SCADA-системы: истоки и перспективы: Машиностроение и компьютерные технологии. 2011, №10 - .
6. Е.В. Вострецова. Основы информационной безопасности / учебное пособие - Издательство Уральского университета 2019, 208 с.

ГЛАВА 2. АНТЕННЫ, СВЧ ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

АНАЛИЗ И ВЫБОР АМПЛИТУДНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ОШИБОК В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ И НЕИСПРАВНОСТЯХ ФАЗОВРАЩАЮЩИХ УСТРОЙСТВ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Килина Е.С., Измайлов А.А.
АО «НПП «Салют»
+7 (912) 025-22-67, izmailovaa@npp-salyut.ru

В работе проведен анализ амплитудных распределений при наличии амплитудно-фазовых ошибок и неисправностей фазовращающих устройств антенных решеток, предложен выбор оптимального амплитудного распределения в условиях неисправностей и ошибок. Приведен расчет качественных характеристик направленности АР. Анализировались зависимости основных характеристик системы от выхода из строя элементов и уровня ошибок.

Ключевые слова: амплитудные распределения, выход из строя излучающих каналов, амплитудно-фазовые ошибки, характеристики направленности АР.

Analysis and selection of amplitude distributions in case of errors in distribution systems and malfunctions of antenna arrays phase shifters. Kilina.E.S., Izmaylov A.A., JSC «NPP «Salyut»

The study analyzed the amplitude distributions in the presence of amplitude-phase errors and defects of the phase-shifting devices of antenna arrays. Proposed a choice of directional characteristics of the antenna array. The dependences of the main characteristics of the system on the failure of elements and the level of errors were analyzed.

The Dolph-Chebyshev distribution is considered. The analysis showed that the Dolf-Chebyshev distribution has more stable characteristics to amplitude-phase errors and failure of elements.

Keywords: Radar characteristics, amplitude distributions, amplitude-phase errors, faulty random elements.

Введение

При разработке антенных решеток и фазированных антенных решеток ключевым аспектом является обеспечение её работоспособности и сохранение основных радиотехнических характеристик в условиях наличия амплитудно-фазовых ошибок, распределенных по апертуре и неисправностях фазовращающих устройств.

Данной проблеме посвящено множество исследований, например, в [1] исследовалось влияние амплитудно-фазовых ошибок на определение установки луча и описан алгоритм уменьшения СКО позиционирования главного лепестка ДН.

Цель работы – анализ характеристик АР, зависимость этих характеристик от амплитудно-фазовых ошибок и выхода из строя случайных излучающих каналов.

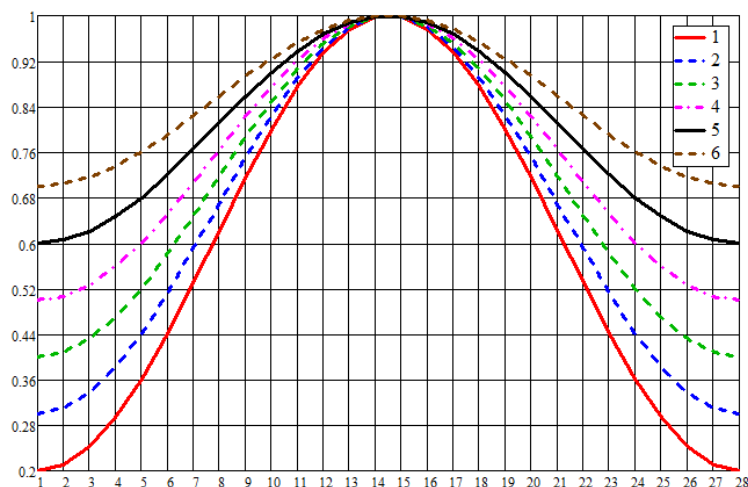
Основные характеристики исследуемой системы:

- рабочий диапазон частот: L;
- максимальный размер апертуры АР: 2800 мм в горизонтальной плоскости;
- шаг между излучателями варьировался, для выбора оптимальных характеристик;
- величина амплитудных ошибок: ± 1 дБ;
- величина фазовых ошибок: $\pm 11.25^\circ$;
- уровень боковых лепестков не менее 18 дБ;
- ширина ДН не более 4.7° ;
- максимальный процент каналов, вышедших из строя: 20%.

Выбор амплитудно-фазовых распределений для построения ДН АР

На первом этапе работы был проведен анализ перспективных типов амплитудных распределений, пригодных для использования в современных радиолокационных системах и обеспечивающих требуемые параметры по КНД и УБЛ с минимальной шириной диаграммы направленности в горизонтальной плоскости [2]. В вертикальной плоскости закладывалось равномерное распределение и шаг между излучателями $d_y = 0,54\lambda_0$, количество излучателей фиксировалось и равно 8. В горизонтальной плоскости необходимо определить оптимальное соотношение в количестве излучателей и шагом между ними, для обеспечения наилучших характеристик ФАР. Количество излучателей выбиралось в диапазоне 24-28, с шагом $d_x = 0,46\lambda_0 \div 0,54\lambda_0$ соответственно.

Первым из распределений было рассмотрено \cos^2 на пьедестале. Выбор пьедестала основывался на требованиях, предъявляемых к ФАР, а именно – уровень БЛ не менее 18, ширина ДН не более 4.7° при максимальном КНД. Исследовался диапазон пьедесталов \cos^2 от 0.2 до 0.7 с шагом 0.1 (рис. 1).



1 – величина пьедестала 0.2; 2 – величина пьедестала 0.3; 3 – величина пьедестала 0.4;
4 – величина пьедестала 0.5; 5 – величина пьедестала 0.6; 6 – величина пьедестала 0.7;

Рисунок 1 – Выбор пьедестала для распределения \cos^2 на пьедестале

В таблице 1 приведены основные характеристики для каждого из пьедесталов без внесения амплитудно-фазовых ошибок. Характеристики равномерного распределения приведены для сравнения.

Таблица №1

		КНД, дБ																				
Амп Расп	Равномерное	$\cos^2 0,2$			$\cos^2 0,3$			$\cos^2 0,4$			$\cos^2 0,5$			$\cos^2 0,6$			$\cos^2 0,7$					
Шаг, мм	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	
Без ошибок	28.4	28.5	28.5	26.9	27.2	27.5	27.2	27.5	27.8	27.4	27.7	28.0	27.6	27.9	28.2	27.7	28	28.3	28.4	28.4	28.3	
$2\theta_{0,5}$, градус.																						
Без ошибок	4	3.9	3.9	5.2	5.3	5.3	4.9	4.9	4.9	4.6	4.6	4.7	4.4	4.4	4.5	4.3	4.3	4.3	4.1	4.1	4.1	
УБЛ, дБ																						
Без ошибок	13.2	13.2	13.2	31.4	31.4	31.3	26.5	26.5	26.4	23.8	23.8	23.7	21.7	21.8	21.9	18.9	18.9	18.9	16.9	16.9	16.9	

Как уже было отмечено ранее, выбор пьедестала ограничен требованиями к основным характеристикам ФАР, таким образом будем рассматривать диапазон пьедестала $0.4 \div 0.5$, так как при меньшем пьедестале ширина главного лепестка превышает требуемую, а при большем – уровень боковых лепестков не удовлетворяет техническим характеристикам.

Вторым распределением было предложено рассматривать распределение Дольфа-Чебышева (рис. 2). Преимуществом этого распределения является возможность задания уровня боковых лепестков, а также выбора количества крайних элементов в амплитудном распределении. Для проверки критерия соблюдения технических характеристик было выбрано два уровня боковых лепестков, а именно: -27 дБ и -35 дБ. Как известно из теории, при снижении уровня боковых лепестков ширина главного лепестка ДН увеличивается [3]. Это приводит к уменьшению КНД, таким образом, уровень БЛ в 35 дБ является предельным в соотношении между шириной ДН и максимальным КНД. Стоит отметить, что дальнейшее

исследование проводится с одним крайним элементом и увеличение числа крайних элементов будет рассмотрено в отдельной главе.

Сравним характеристики двух распределений, для \cos^2 на пьедестале рассмотрим еще пьедестал 0.45 без амплитудно-фазовых ошибок (табл. 2).

Таблица №2

Амп Расп	КНД, дБ																	
	Равномерное			$\cos^2 0,4$			$\cos^2 0,45$			$\cos^2 0,5$			Дольф-Чебышева					
													27			35		
Шаг, мм	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)
Без ошибок	28,4	28,5	28,5	27,4	27,7	28,0	27,5	27,8	28,1	27,6	27,9	28,2	27,4	27,6	27,9	26,7	26,9	27,3
20 _{0,5} , градус.																		
Без ошибок	4	3,9	3,9	4,6	4,6	4,7	4,5	4,5	4,6	4,4	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7	5,45	5,48	5,5
УБЛ, дБ																		
Без ошибок	13,2	13,2	13,2	23,8	23,8	23,7	22,8	22,8	22,8	21,7	21,8	21,9	25,6	25,5	25,2	35,7	34,8	34,2

Распределение Дольфа-Чебышева с уровнем боковых лепестков -35 дБ имеет ширину главного лепестка порядка 5,4°, что превышает требования к характеристикам ФАР. Далее будет рассматриваться только уровень БЛ -27 дБ для распределения Дольфа-Чебышева.

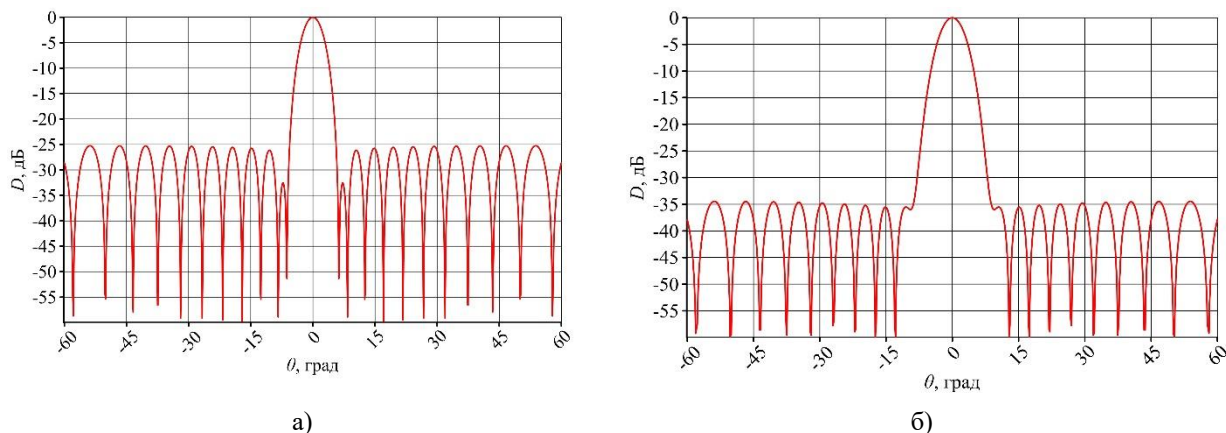


Рисунок 2 – ДН в Е – плоскости для амплитудного распределения Дольфа-Чебышева: а) уровень БЛ минус 27 дБ; б) уровень БЛ минус 35 дБ

Внесение амплитудно-фазовых ошибок в распределительную систему ФАР.

При работе ФАР в условиях, приближенных к реальным, зачастую в апертуре наблюдается присутствие амплитудно-фазовых ошибок, сказывающихся на конечных характеристиках антенной решетки. Внесем случайную величину ошибки в каждый элемент в диапазоне: по амплитуде ± 1 дБ, по фазе ± 11.25 дБ – это соответствует младшему разряду (22.5°) 4-разрядного фазовращающего элемента. Распределение ошибок по апертуре осуществляется по равномерному закону [4]. В таблице 3 приведены основные радиотехнические характеристики ФАР в условиях наличия амплитудно-фазовых ошибок. В таблице 3 приведены средние значения основных характеристик, полученные на основе выборки из 50 рассчитанных диаграмм направленности (ДН) ФАР.

Таблица №3

КНД, дБ															
Амп. Расп.	Равномерное			$\cos^2 0,4$			$\cos^2 0,45$			$\cos^2 0,5$			Дольф-Чебышева		
	27			27			27			27			27		
Шаг, мм	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)	95 (28)	102 (26)	110 (24)
С ошибками	27,6	27,5	27,5	26,6	26,9	27,2	26,7	26,9	27,3	26,7	27,1	27,3	27,3	27,3	27,3
20 _{0.5} , градус.															
С ошибками	3,9	3,9	3,9	4,6	4,6	4,7	4,5	4,6	4,6	4,4	4,5	4,4	4,6	4,6	4,7
УБЛ, дБ															
С ошибками	13	12,9	13	21	21,4	20,6	21,1	20,8	20,1	20,6	19,7	19,5	18,7	18,8	18,6

На рисунке изображена одна из 50 реализаций ДН ФАР для амплитудных распределений \cos^2 на пьедестале 0.5 и Дольфа-Чебышева и шага между излучателями 110 мм с апертурой 24x8. Фазовые ошибки вносят основной вклад в изменения ДН и рост уровня БЛ.

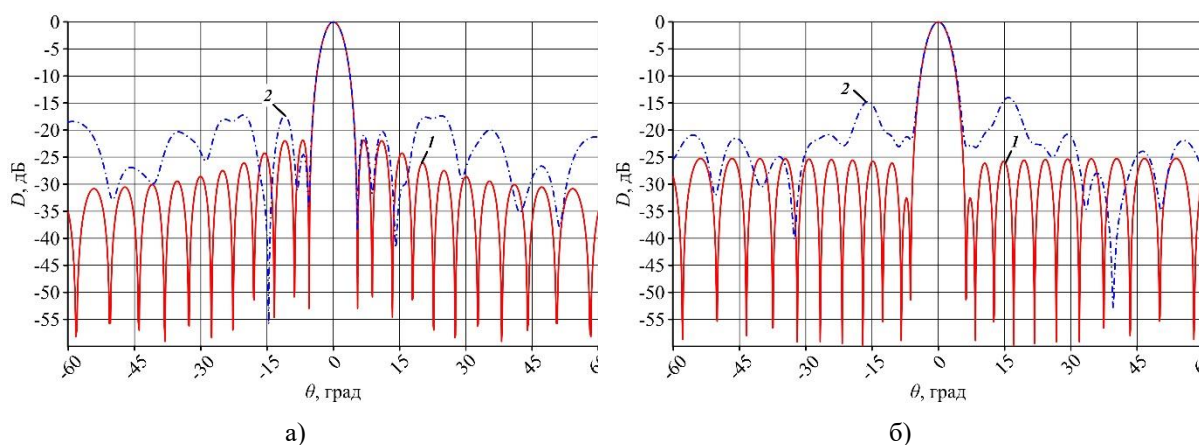


Рисунок 3 – график ДН в Е – плоскости: кривая 1 – без амплитудно-фазовых ошибок, кривая 2 – с амплитудно-фазовыми ошибками для амплитудных распределений: а) \cos^2 на пьедестале 0.5; б) Дольфа-Чебышева с УБЛ -27 дБ.

Основываясь на полученных характеристиках, можно сделать вывод, что распределение \cos^2 на пьедестале дает ширину ДН меньше, чем распределение Дольфа-Чебышева, особенно явно это видно на примере пьедестала 0.5 – разница составляет 0.3° , при этом наблюдается одинаковый уровень КНД 27.3 дБ для шага 110 мм, а разница в уровне боковых лепестков составляет 0.9 дБ.

Анализ устойчивости радиолокационных характеристик к проценту вышедших из строя излучающих элементов.

Под неисправностью излучающих элементов будем подразумевать ситуацию, когда амплитуда и фаза неисправного элемента обращаются в 0, т.е. элемент, фактически отсутствует [5]. Для удобства расчета возьмем процентное отношение количества неисправных элементов по каждому случаю амплитудного распределения и шага между элементами. За максимально возможный процент вышедших из строя элементов будем считать 20%. Минимальный процент вышедших из строя элементов – 1%, как

наиболее часто встречающийся и при этом вносящий минимальный вклад в изменения характеристик антенных решеток. Рассмотрим также промежуточные значения 5%, 10% и 15%, чтобы оценить динамику изменения исследуемых величин. На рисунке 4 приведен пример выхода из строя излучающих каналов для каждого случая в процентах.

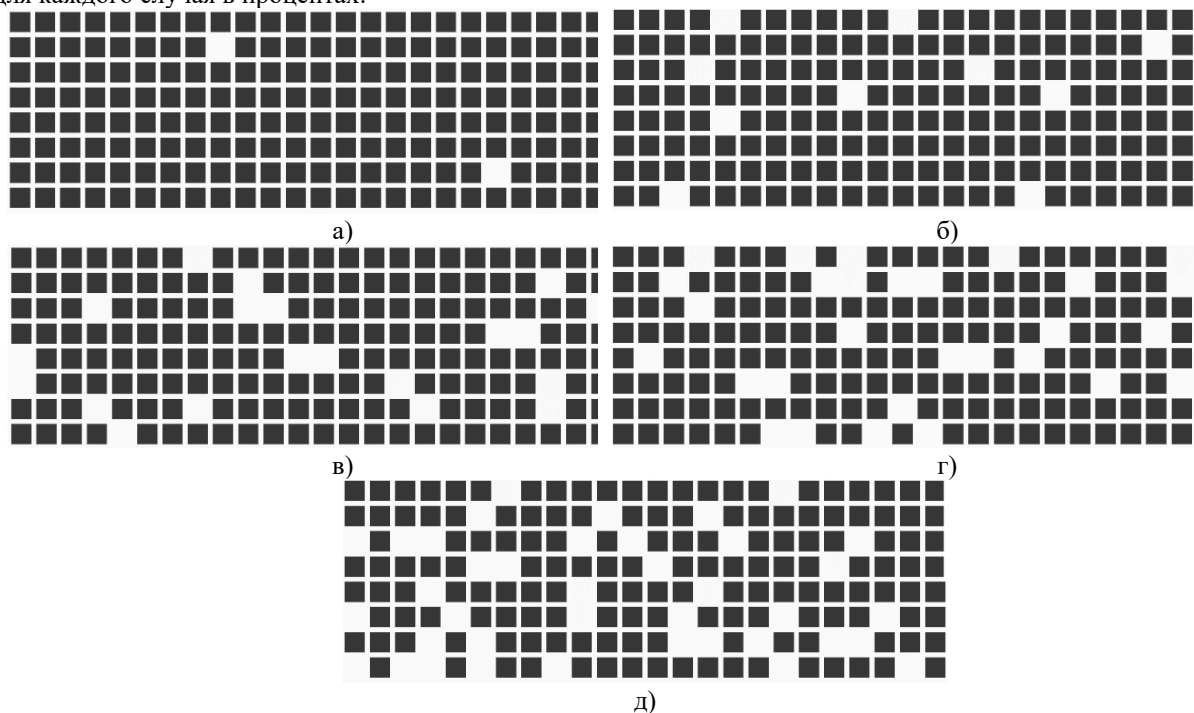


Рисунок 4 – Пример апертуры 24x8 с вышедшими из строя излучающими элементами: а) 1% - вышедших из строя, б) 5% - вышедших из строя, в) 10% - вышедших из строя, г) 15% - вышедших из строя, д) 20% - вышедших из строя.

В таблице 4 приведены средние значения величин, полученных в результате анализа 50 выборок ДН.

Таблица №4

Вышедшими из строя 1%	КНД, дБ				20 _{0,5} , градус.				УБЛ, дБ			
	cos ² 0,4	cos ² 0,45	cos ² 0,5	Ч-27	cos ² 0,4	cos ² 0,45	cos ² 0,5	ДЧ-27	cos ² 0,4	cos ² 0,45	cos ² 0,5	ДЧ-27
27,1	27,2	27,3	27,3	27,3	4,7	4,6	4,5	4,7	20,6	20,1	20,6	20,6
26,8	26,9	26,9	27,1	27,1	4,6	4,6	4,4	4,6	21,4	20,8	21,4	21,4
26,6	26,6	26,6	26,7	26,7	4,6	4,6	4,4	4,6	21	21,1	21	21,1
27,2	27,3	27,3	27,3	27,3	4,6	4,6	4,4	4,7	20,6	20,6	20,6	20,6
26,9	26,9	26,9	26,7	26,7	4,6	4,6	4,4	4,7	21,4	21,4	21,4	21,4
26,7	26,7	26,7	27,1	27,1	4,6	4,6	4,4	4,7	21	21	21	21
27,3	27,3	27,3	28,2	28,2	4,7	4,6	4,5	4,7	20,6	20,1	20,6	20,6
27	27,1	27,1	27,9	27,9	4,6	4,6	4,5	4,7	21,4	20,8	21,4	21,4
26,7	26,7	26,7	27,6	27,6	4,6	4,6	4,4	4,6	21	21,1	21	21,1
27,2	27,3	27,3	27,9	27,9	4,6	4,6	4,4	4,7	20,6	20,6	20,6	20,6
27,2	27,3	27,3	27,9	27,9	4,6	4,6	4,4	4,7	21,4	21,4	21,4	21,4
27,1	27,3	27,3	28	28	4,6	4,6	4,4	4,7	21	21,1	21	21,1
4,7	4,7	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,4	4,6	20,6	20,6	20,6	20,6
4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,4	4,6	21,4	21,4	21,4	21,4
4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,4	4,6	21	21,1	21	21,1
4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,4	4,6	20,6	20,6	20,6	20,6
4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,5	21,4	21,4	21,4	21,4
4,5	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,5	21	21	21	21
4,4	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	20,6	20,6	20,6	20,6
4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	21,4	21,4	21,4	21,4
4,8	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	21	21	21	21
4,7	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,7	4,6	20,6	20,6	20,6	20,6
4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,7	4,6	21,4	21,4	21,4	21,4
20,8	20,6	20,6	23,7	23,7	20,6	20,6	23,7	23,7	21	21	21	21
2,2	2,1,4	2,1,4	2,3,8	2,3,8	2,1,4	2,1,4	2,3,8	2,3,8	20,6	20,6	20,6	20,6
21,7	21	21	23,8	23,8	21	21	23,8	23,8	21,4	21,4	21,4	21,4
20,3	20,1	20,1	21,4	21,4	20,1	20,1	21,4	21,4	21	21	21	21
21	20,8	20,8	21	21	20,8	20,8	21	21	20,6	20,6	20,6	20,6
20,1	21,1	21,1	22,8	22,8	21,1	21,1	22,8	22,8	21,4	21,4	21,4	21,4
19,9	19,5	19,5	21,8	21,8	19,5	19,5	21,8	21,8	21	21	21	21
19,6	19,7	19,7	21,9	21,9	19,6	19,6	21,9	21,9	20,6	20,6	20,6	20,6
20,2	20,6	20,6	21,7	21,7	20,2	20,2	21,7	21,7	21,4	21,4	21,4	21,4
17,8	18,6	18,6	25,8	25,8	17,8	17,8	25,8	25,8	21	21	21	21
18,7	18,8	18,8	25,8	25,8	18,7	18,7	25,8	25,8	20,6	20,6	20,6	20,6
17,8	18,7	18,7	26	26	17,8	17,8	26	26	21,4	21,4	21,4	21,4

Вышедшими из строя 20%	Вышедшими из строя 15%	Вышедшими из строя 10%	Вышедшими из строя 5%
26,2	26,5	26,7	27
25,9	26,2	26,4	26,7
25,6	25,9	26,1	26,4
26,4	26,5	26,8	27
26	26,3	26,5	26,8
25,7	26	26,2	26,5
26,4	26,6	26,9	27,1
26	26,3	26,6	26,8
25,8	26	26,3	26,5
26,3	26,6	26,8	27,1
26,3	26,6	26,7	27
26,4	26,5	26,9	27
4,6	4,7	4,6	4,7
4,7	4,7	4,6	4,6
4,6	4,7	4,6	4,6
4,5	4,6	4,6	4,6
4,4	4,5	4,5	4,5
4,6	4,5	4,5	4,5
4,5	4,4	4,4	4,5
4,4	4,5	4,4	4,4
4,4	4,4	4,4	4,4
4,7	4,7	4,7	4,6
4,7	4,6	4,8	4,6
4,6	4,6	4,5	4,6
18,8	19,9	20	21,1
20,1	20,1	21	21,1
20,6	20,4	20,8	21,5
18,7	19,2	20	20,3
18,2	19,4	19,7	21
19,4	20	19,8	20,5
18,1	18	18,5	19,2
18,4	19	18,7	19,2
18,3	18,1	19,4	19,6
18,2	18	18,8	17,9
17,2	16,8	18,6	17,6
18,7	18	19	19,1

На рисунке 5 представлен пример ДН с 20% вышедших из строя элементов и исходное распределение – без амплитудно-фазовых ошибок.

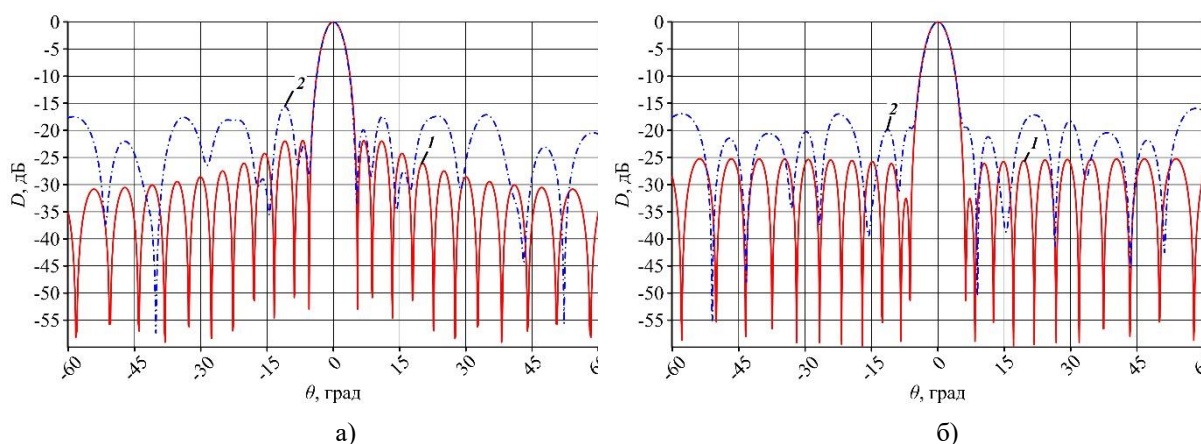


Рисунок 5 – график ДН в Е – плоскости: кривая 1 – без амплитудно-фазовых ошибок, кривая 2 – с амплитудно-фазовыми ошибками и вышедшими из строя 20% элементов для амплитудных распределений: а) \cos^2 на пьедестале 0,5; б) Дольфа-Чебышева с УБЛ -27 дБ.

Наряду с ростом боковых лепестков, в некоторых случаях наблюдается их падение. Это объясняется тем, на какой позиции по апертуре находились вышедшие из строя элементы – влияние вышедших из строя крайних элементов существенно ниже влияния вышедших из строя центральных элементов. Из полученных результатов делаем вывод, что с увеличением числа вышедших из строя случайных излучающих элементов происходит уменьшение КНД и наблюдается пропорциональный рост УБЛ. Приведенные характеристики были подтверждены электродинамическим моделированием.

Увеличение числа крайних элементов для распределения Дольфа-Чебышева.

Рассмотрим случай для нескольких крайних элементов в распределении Дольфа-Чебышева. Предполагается, что с увеличением числа крайних элементов распределения уровень боковых лепестков будет увеличиваться, при этом уменьшится ширина главного лепестка и увеличится КНД. Проверим данное утверждение на примере апертуры 28x8 с шагом между элементами 95 мм. На рисунке 6 приведены графики амплитудного распределения для 4 крайних элементов амплитудного распределения с амплитудно-фазовыми ошибками и выходе из строя 20% элементов.

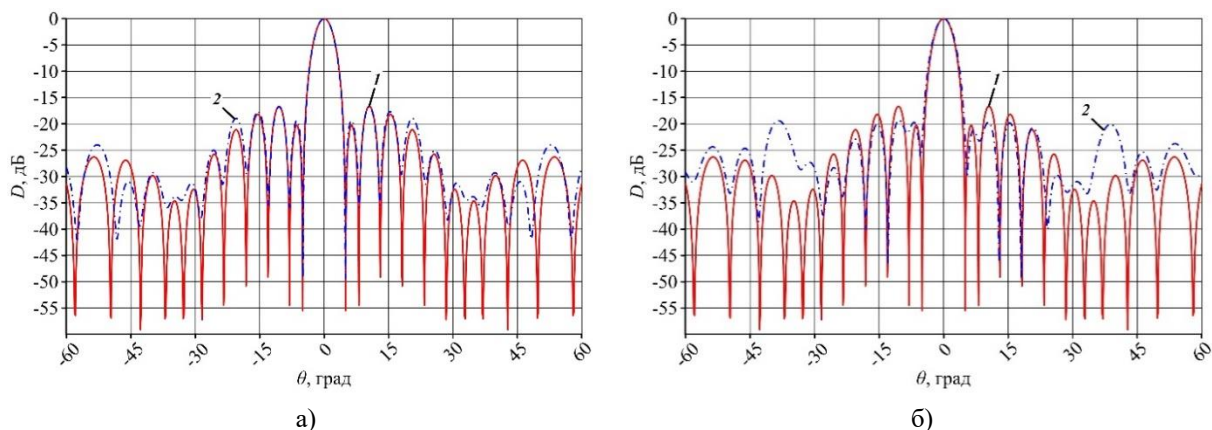


Рисунок 6 – график ДН амплитудного распределения Дольфа-Чебышева с 4 крайними элементами УБЛ -27 дБ в Е – плоскости: а) кривая 1 – без амплитудно-фазовых ошибок, кривая 2 – с амплитудно-фазовыми ошибками; б) кривая 1 – без амплитудно-фазовых ошибок, кривая 2 – с амплитудно-фазовыми ошибками и вышедшими из строя 20% элементов для амплитудных распределений.

На рисунке 7 приведены графики амплитудного распределения для 7 крайних элементов амплитудного распределения с амплитудно-фазовыми ошибками и выходе из строя 20% элементов. Основные характеристики для двух случаев приведены в таблице 5.

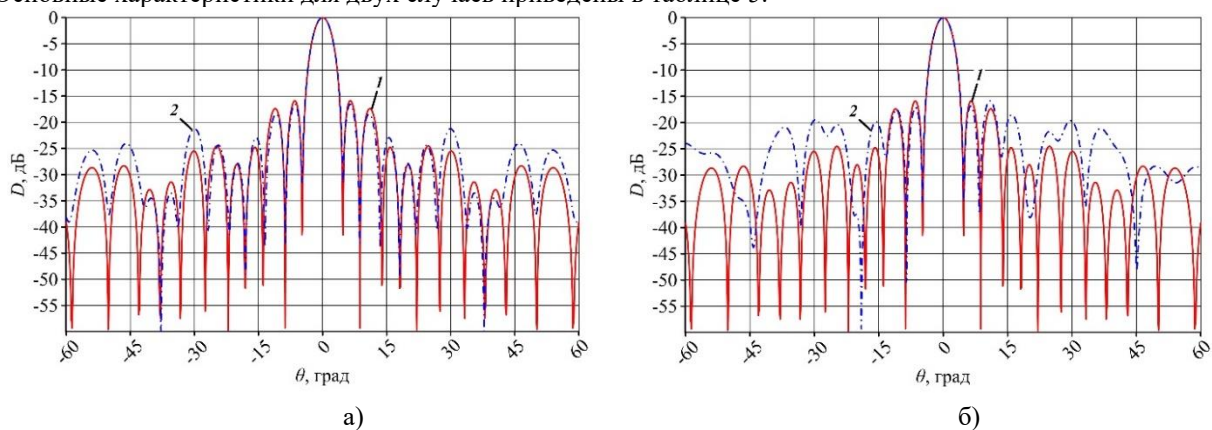


Рисунок 7 – график ДН амплитудного распределения Дольфа-Чебышева с 7 крайними элементами УБЛ -27 дБ в Е – плоскости: а) кривая 1 – без амплитудно-фазовых ошибок, кривая 2 – с амплитудно-фазовыми ошибками; б) кривая 1 – без амплитудно-фазовых ошибок, кривая 2 – с амплитудно-фазовыми ошибками и вышедшими из строя 20% элементов для амплитудных распределений.

Таблица № 5

Параметры	КНД, дБ			2θ _{0.5} , градус.			УБЛ, дБ		
	Равномерное	Дольфа-Чебышева		Равномерное	Дольфа-Чебышева		Равномерное	Дольфа-Чебышева	
4 крайних элементов		7 крайних элементов	4 крайних элементов		7 крайних элементов	4 крайних элементов		7 крайних элементов	
Без ошибок	28,4	28,3	28,4	4	4,2	4,1	13,2	16,6	15,9
С ошибками	27,6	27	27,2	3,9	4,2	4,1	13	16,5	15,8
С ошибками и вышедшими из строя 1%	27,6	27	27,2	3,9	4,2	4,1	13	16	15,8
С ошибками и вышедшими из строя 5%	27,4	26,9	26,9	3,9	4,2	4,1	13,1	15,8	15,8
С ошибками и вышедшими из строя 10%	27,1	26,6	26,7	3,9	4,2	4,1	13,2	15,6	14,9
С ошибками и вышедшими из строя 15%	26,9	26,4	26,7	3,9	4,2	4,1	13,3	15,5	15
С ошибками и вышедшими из строя 20%	26,6	26,1	26,7	3,9	4,2	4,1	13	15,2	15,1

В результате проведенной проверки, как и для случая распределения с одним крайним элементом, при выходе из строя 20% элементов, общий уровень боковых лепестков возрастает. При увеличении числа крайних элементов значения характеристик приближаются к равномерному распределению. Для ситуации с 7 крайними элементами уменьшение КНД при 20% вышедших из строя элементов составляет 0.5 дБ от случая с амплитудно-фазовыми ошибками.

Заключение

В работе проведен анализ амплитудных распределений при наличии амплитудно-фазовых ошибок и неисправностей фазовращающих устройств антенных решеток. В результате исследования, более устойчивые характеристики к амплитудно-фазовым ошибкам и выходу из строя элементов получились у Дольф-Чебышевского распределения с уровнем боковых лепестков минус 27 дБ. Ещё одним преимуществом данного распределения является вариативность исходных данных распределения: выбор уровня боковых лепестков, выбор количества крайних элементов распределения. Чем больше количество вышедших из строя случайных элементов, тем больше боковые лепестки ДН и меньше КНД, при этом, чем ниже исходный УБЛ ДН, тем в большей степени возрастают боковые лепестки. Важным аспектом проведенного исследования являются характеристики, полученные в ходе работы средние значения основных характеристик при амплитудно-фазовых ошибках и выходе из строя 20% излучающих элементов: КНД не менее 26.3 дБ, ширина ДН не более 4.7°, УБЛ не более минус 17.2 дБ.

Литература

1. Microwave scanning antennas / Hansen R.C. Academic Press Inc. 1964. Vol.1. С. 1264.
2. Вопросы статистической теории антенн. / Шифрин Я.С. М. Советское радио. 1970. С. 384
3. Антенны: теория и практика / Щелкунов С.А. Фриис Г.Т./ под ред. Л.Д. Бахраха. – М. Советское радио. 1955. С. 604.
4. Мищенко С.Е., Шацкий Н.В. // Радиотехника. 2014. №1. С.10 Оптимизация энергетических характеристик антенной решетки с учетом флуктуаций амплитудно-фазового распределения и отказов отдельных элементов.
5. Юрцев О.А., Москалев Д.В., Кизименко В.В. // Доклады БГУИР. 2011. Т.62. № 8. С.45. Влияние выхода из строя излучающих элементов на характеристики плоской антенной решетки.

О ПОЛУЧЕНИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О НЕКОТОРЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Гордиенко А.Н., Сериков В.В.

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий)
+7 905 780-40-50, an_gordienko@bk.ru

Исследование посвящено прогнозированию природных чрезвычайных ситуаций, очаги которых возникают в околоземном пространстве (ионизирующее излучение или возмущение радиационной обстановки) или связаны с процессами в ионосфере (землетрясения), при чём ионосфера выступает предупреждающим индикатором этих ЧС.

Перед МЧС России стоит задача организовать получение прогностической информации по указанным чрезвычайным ситуациям. Предлагается делать это посредством использования передовых авторских разработок российских учёных.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, ионосфера, излучение, космический аппарат, антенна, излучатель.

On obtaining predictive information about certain emergency situations by radio engineering means. Gordienko A.N., Serikov V.V., All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations (Federal Center for Science and High Technologies)

The article is devoted to the issues of forecasting natural emergencies, the foci of which arise in near-Earth space (ionizing radiation or disturbance of the radiation situation) or are associated with processes in the ionosphere (earthquakes), with the ionosphere acting as a warning indicator of this emergency.

The EMERCOM of Russia is tasked with organizing the receipt of predictive information on these emergencies. It is proposed to do this through the use of advanced author's developments by Russian scientists.

Keywords: emergencies, ionosphere, radiation, spacecraft, antenna, radiator.

Вступление

Исходя из установленных МЧС России критериев о чрезвычайных ситуациях (ЧС), МЧС России в сотрудничестве с другими участниками единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) – Минобороны России, Госкорпорацией «Роскосмос» и институтами Российской академии наук (РАН) – осуществляются мероприятия по минимизации последствий природных ЧС:

- землетрясения (по ионосферному отклику на подготовку землетрясения),
- возмущение ионосферы, через воздействие на магнитное поле (с учётом измерения спектральных характеристик потоков протонов и электронов космического излучения) влекущее нарушение коротковолновой (КВ-) связи,
- возмущение радиационной обстановки в околоземном пространстве.

Ионизирующее излучение – явление, при котором носимая излучением энергия проникает в материю, вызывает ионизацию атомов, разрывает химические связи. Кроме того, интенсивные токи ионосферы и рентгеновские вспышки (сами по себе продукт ионизирующего излучения) приводят к ЧС на транспорте и в работе линий электропередач, систем КВ-связи. Предотвратить эти явления в космосе невозможно, но их прогнозирование на основании получаемой с космических аппаратов (КА) информации позволяет разработать меры реагирования и минимизации негативных последствий.

Процессы исследуются с помощью аппаратуры, установленной на КА. Механизмы ионосферных явлений обусловлены взаимодействием потоков заряженных частиц, генерируемых при солнечной активности. Вместе с тем получены данные, позволяющие связать некоторые ионосферные эффекты, вызываемые процессами в земной коре (например, резкое возрастание электронных концентраций при формировании тектонических разломов на стадии подготовки достаточно крупных землетрясений).

Регистрация возмущения ионосферы с нарушением коротковолновой связи, возмущения радиационной обстановки в околоземном пространстве, позволяет спрогнозировать и разработать меры реагирования по предупреждению таких природных ЧС, как землетрясения.

Исходя из задач РСЧС, целью исследования является предложение наиболее эффективного набора некоторых средств получения информации с помощью размещаемых на КА антенн.

Постановка проблемы и предложения по её решению

Базой данных для прогнозирования связанных с этими явлениями ЧС, разработкой мер возможного реагирования, может являться диагностика возмущения ионосферы и радиационной обстановки в околоземном пространстве.

На сегодня МЧС России получает информацию с Международной космической станции, ряда аппаратов серии Канопус-В-ИК и Канопус-В, Ресурс-П, Электро-Л, а также с КА зарубежных операторов, входящих в Международную хартию по космосу и крупным катастрофам. В числе таких можно привести спутники США: AQUA 113 на орбите 680 км, TERRA 119 на орбите 685 км, серию спутников NOAA и Suomi NPP на орбите 824-854 км. Также геостационарный метеоспутник Himawari-8 (Япония). Все они используются только для целей мониторинга природных ЧС, очаги которых находятся на Земле, выбросов загрязняющих веществ в природную среду, наблюдения за состоянием природных ресурсов и картографирования.

Из приведённых КА только TERRA 119 имеет в наборе своего оборудования прибор измерения счётных характеристик ионизирующего излучения по оценке плотности потока, активности, и др.

Для получения оперативной информации о формировании ЧС в космическом пространстве в интересах МЧС России могут использоваться комплексы выведенного на орбиту в августе 2022 г. «Ионосфера-М», а также «Ионозонд-2025», (КА) SamSat-ION, другие КА, запуск которых может быть осуществлён в 2025 г. на круговую солнечно-синхронную орбиту высотой около 820 км. Такие мероприятия принципиально предусмотрены Федеральной космической программой на 2016–2025 годы и Планом по реализации Основ государственной политики в области использования результатов космической деятельности по обеспечению функционирования постоянно действующей группировки КА гелиогеофизического назначения для изучения ионосферы. В ведении МЧС России находятся модули обработки информации с автоматизированной системой спутникового обмена и антенные комплексы непосредственного приёма.

Состояние ионосферы (ионизованное высокоэнергетическим излучением Солнца пространство, индикатором которого является полное электронное содержание) неоднородно в пространстве и меняется во времени в силу влияния солнечного излучения, метеоров, землетрясений, а также ряда причин, связанных с человеческой деятельностью. Проявления сейсмо-ионосферных связей – аномальных возмущений полного электронного содержания ионосферы перед землетрясениями рассматриваются как предвестники землетрясений [1] изменяется с помощью навигационной аппаратуры, работающей на одной частоте (например: устройство измерения полного электронного содержания ионосферы при одночастотном режиме работы систем спутниковой навигации). Все природные факторы в ионосфере

могут быть измерены с помощью фазированных антенных решёток (ФАР). Создание излучателей приёмопередающих модулей для ФАР и мощных многоканальных устройств для цифровой обработки позволит получить гораздо больше информации по сравнению с существующими на сегодняшний день антенными системами.

В интересах МЧС России – создание информационной системы, позволяющей по сигналам спутниковых радионавигационных систем (СРНС) проводить мониторинг ионосферы и выдавать потребителям прогностическую информацию для проведения навигационных определений, что предполагает наличие группировки специальных КА, обеспечивающих эффективную работу СРНС. Соответственно, целью научного суждения является выработка рекомендаций по созданию информационной системы мониторинга ионосферы по сигналам СРНС.

При исследовании ионосферы полярных областей Земли, важнейшим является не только измерение параметров ионосферной плазмы и их динамики. Большую роль в природе полярной ионосферы играют движения потоков заряженных частиц (например, в виде дрейфа плазмы как целого, так и в виде заряженных частиц друг относительно друга). Поэтому при проектировании антенной системы должна быть реализована трёхпозиционная схема, позволяющая измерять полный вектор скорости движения частиц в ионосфере.

Решить указанные задачи модификацией только навигационных приёмников представляется невыгодным. Оптимальным видится создание информационной системы космического базирования, способной распознавать сигналы в ионосфере, прохождение которых позволяет диагностировать зависимости исследуемых явлений, выполнять задачи по мониторингу, анализу и передаче всего комплекса необходимых данных получателям в РСЧС.

Информацию формируют данные о концентрации электронов ниже главного ионосферного максимума, температура, ионный состав среды, скорости дрейфа свободных электронов, термальное рассеяние которых определяет характеристики ионизированной среды). В составе данной СРНС необходимо иметь базовую станцию в составе блоков вычисления фазовых ошибок, детектирования области повышенной ионизации и выдачи информации, сеть связанных с базовой станцией модифицированных навигационных приёмников, каждый из которых интегрирован в информационную систему, а также бортовые антенные системы при минимизации габаритных размеров.

В свою очередь, базовая станция, выдаёт управляющие сигналы и корректирующие поправки наземным потребителям СРНС. Корреляция расположенных на КА антенных систем различных рабочих диапазонов частот и назначений и обеспечение их электромагнитной совместимости с наземными приёмопередающими устройствами (ППУ) во многом зависит от характеристик и параметров используемых антенных систем [2].

Минимизация габаритных размеров антенных систем необходима для систем мониторинга объектов в околоземном пространстве, связи различного назначения, навигационных систем позиционирования, в том числе геодезических антенн, радиолокации, включая системы обнаружения, сопровождения и наведения. Учитывая данные требования, для систем передачи прогностической информации и результатов мониторинга ионосферы в качестве базового варианта приёмной антенны может быть использован излучатель Климова [3], позволяющий уменьшить рабочий диапазон частот уже существующих излучателей без изменения их габаритных размеров.

При разработке антенн типа излучателя Климова или аналогичного по своим основным характеристикам и позволяющего смещать рабочую полосу частот в длинноволновый диапазон (диапазон радиоволн с частотой 30-300 кГц) излучателя, необходимо использовать импедансногласованные с вакуумом материалы. Для моделирования при этом используют наиболее подходящее экспериментальное исследование применения их характеристик посредством гибридного имитационного моделирования процессов распространения сигнала в ионосфере – метода, в своей основе сформулированного М. С. Нейманом ещё в 1934 году.

Для повышения темпа обзора пространства желательно формировать не один, а сразу несколько независимых лучей. Такие возможности даёт использование на одной и той же апертуре многоканальных диаграммообразующих систем, в частности квазиоптических. Так и использованием квазиоптической линзы Климова может быть осуществлён мониторинг ионосферы одновременно с пяти направлений, что в пять раз сокращает время получения данных по прохождению сигнала в ионосфере и, соответственно, в пять раз по сравнению с общераспространёнными технологиями повышает достоверность прогноза указанных ЧС на основании получаемых данных.

Для диагностики пространственно-временной структуры и параметров ионосферы, распределения её электронной концентрации посредством моделирования процессов распространения сигнала в ионосфере, могут быть использованы модели внутреннего и внешнего кубов Гюйгенса и Сестрорецкого, приведённые в работах с участием К.Н. Климова и А.С. Година [4]. Их ценностью являются возможность развязки между элементами антенной решётки, уменьшение её толщины и уменьшение «заднего» излучения, а также придание новых свойств при фильтрации.

Связанная с возмущением ионосферы ЧС – состояние ионосферы, когда появление и сохранение в течение ≥ 3 часов отрицательных отклонений максимальных применимых частот при распространении радиоволн на величину более 50% от медианных (средних) значений критических частот ($> 50\%$) или полное поглощение сигналов в коротковолновом диапазоне в течение ≥ 1 часа в полярных областях.

Необходимо оговориться: измерение потока высокоэнергичных (с энергией $E_p \geq 30$ МэВ) протонов ≥ 800 частиц/кв. см \times с) возможно осуществлять с КА только на орбитах выше 1000 км и тогда КА «Ионозонд-2025», (КА) SamSat-ION на орбите 820 км не смогут выполнять эти задачи.

Радиационная ЧС в околоземном пространстве – состояние, когда расчётная максимальная мощность дозы проникающих излучений на орбите КА высотой 300-500 км и наклоном 52° (за защитой 1 г/кв. см алюминия) (P_{\max}) > 25 рад./сут. при магнитной буре, характеризуемой индексами геомагнитной возмущённости $K_p > 5$ или $A_p > 30$. Объектом космомониторинга в этом случае будет взаимозависимость вариации волновой возмущённости ионосферы и вариации, связанной с изменениями геомагнитной активности.

Мониторинг селекторов поляризации для установления соответствующих параметров радиационной обстановки осуществляется гамма-спектрометром для измерения дифференциальных энергетических спектров жёсткого рентгеновского и гамма излучения атмосферы Земли, для которого, в свою очередь, представляется эффективным программное обеспечение CST Studio Suite® — пакетный программный продукт для проектирования, анализа и оптимизации электромагнитных компонентов и систем. Эти решающие программы можно объединять для гибридного имитационного моделирования, что даёт конструкторам возможность эффективно и быстро анализировать целые системы, состоящие из множества компонентов

Мониторинг этих характеристик и передача данных о состоянии ионосферы требует установки на КА приёмно-передающей бортовой антенны.

Заключение

Современные разработки, в первую очередь, приведённые, в дополнение к используемым системам космического базирования позволяют наиболее эффективным образом решать задачи мониторинга ионосферы с получением всего комплекса данных, необходимых для прогнозирования указанных ЧС: землетрясения (по установленным с помощью оборудования Климова и др. на КА параметрам ионосферный отклик на подготовку землетрясения), образующие самостоятельные ЧС сильное возмущение ионосферы с нарушением коротковолновой связи и сильного возмущения радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве.

Благодарности

Авторы выражают благодарность профессору Константину Николаевичу Климову за бесценные консультации в процессе изучения его разработок, положенных в основу данного краткого исследования.

Литература

1. Карпов М. И. Моделирование ионосферного отклика на процесс подготовки землетрясений / М. И. Карпов, О. В. Золотов, А. А. Намгаладзе // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2012. – Т. 15, № 2. – С. 471-476. – EDN RGQVEZ;
2. Катков К. А., Пашинцев В. П., Катков Е. К. Информационная система мониторинга ионосферы. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 18, №2(3), 2016;
3. Патент на полезную модель № 169311 U1, МПК H01Q 9/00. Излучатель Климова: № 2016107995: заявл. 04.03.2016; опубл. 15.03.2017 / К. Н. Климов, А. С. Годин. – EDN UCNZY;
4. Климов К. Н., Годин А. С., Гежа Д. С. Электрически малые антенны. Часть 2 // Успехи современной радиоэлектроники. —2016. — № 7. —с.17—34;

АНТЕННА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ С КРУГОВОЙ АЗИМУТАЛЬНОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Сучков А.В., Устинов А.В.
ПАО «НПО «Алмаз» (ТОП «ЛЭМЗ»)
+7 (915) 322-99-03, avsu@bk.ru, sector-20@ya.ru

Разработана антенна горизонтальной поляризации с круговой азимутальной диаграммой направленности, предназначенная для передачи и приема информации между радиомодулями универсальной короткой радиолинии дециметрового диапазона. Антенна выполнена на базе трех полуволновых конформных вибраторов, запитанных от коаксиального делителя мощности 1:3, в нижней

части антенны на расстоянии около четверти длины волны от вибраторов расположен рефлектор. Обсуждаются вопросы синтеза антенны, анализа и оптимизации ее компьютерной модели в Ansys HFSS. Приведены результаты численного моделирования и экспериментальные характеристики диаграмм направленности антенны.

Ключевые слова: ненаправленная антенна, конформный излучатель, круговая диаграмма направленности, антенна горизонтальной поляризации, численное моделирование, антенные измерения.

Horizontally polarized antenna with a circular azimuthal radiation pattern. Suchkov A.V., Ustinov A.V. PJSC "ALMAZ R&P Corp." Lianozovo Electromechanical Plant Division.

A horizontally polarized antenna with a circular azimuthal radiation pattern has been developed. The antenna designed to transmit and receive information between radio modules of a decimeter-wave universal short-range radio line, and made of three half-wave conformal dipoles, which powered by a three-channel coaxial power divider. A reflector is located in the lower part of antenna at a distance from the dipoles of about a quarter of the wavelength. The issues of antenna synthesis, analysis and optimization of its computer model in Ansys HFSS are discussed. Finally, the numerical simulation results and experimental characteristics of antenna radiation patterns are presented.

Keywords: omnidirectional antenna, conformal dipole, circular radiation pattern, horizontally polarized antenna, numerical simulation, antenna measurements.

Введение

В антеннах базовых станций связных и телевизионных систем, радиомаяков, вспомогательных каналов радиолокаторов и других устройств в некоторых случаях желательно иметь круговой излучатель, т.е. антенну у которой азимутальная диаграмма направленности (ДН) представляет собой почти правильную окружность. В литературе такую ДН также называют ненаправленной по азимуту, круговой или всенаправленной [1]. Сравнительно просто может быть рассчитан и изготовлен круговой излучатель вертикальной поляризации, поскольку любая монополярная, либо дипольная антенна, установленная вертикально, излучает одинаково по всем направлениям нормали к своей оси. Гораздо труднее, а для радиолюбителя практически невозможно спроектировать антенну горизонтальной поляризации с круговой азимутальной ДН [2]. В работах [1-3] рассмотрены возможные варианты реализации таких антенн в различных диапазонах частот на основе двухсторонних осевых щелевых излучающих элементов в двух проводящих экранах, антенны типа «мальтийский крест» и ее конструктивной модификации – антенны типа «клеверный лист», четырех петлевых вибраторов, расположенных по кругу через 90°. В данной статье представлены результаты разработки антенны горизонтальной поляризации с круговой азимутальной диаграммой направленности [4], которая предназначена для передачи и приема информации между радиомодулями универсальной короткой радиолинии дециметрового диапазона.

Исходные данные

Разработка антенны для универсальной короткой радиолинии проводилась в соответствии со следующими техническими требованиями:

- диапазон рабочих частот: ДМВ;
- поляризация: горизонтальная;
- тип ДН в горизонтальной плоскости: всенаправленная (360°);
- допустимая неравномерность ДН в горизонтальной плоскости: $\pm 1,0$ дБ;
- ширина ДН в вертикальной плоскости: $90^\circ \pm 5^\circ$;
- коэффициент усиления антенны: не менее 2 дБ;
- волновое сопротивление входа антенны: 50 ± 5 Ом;
- коэффициент стоячей волны на входе антенны: не более 2,0;
- максимальная импульсная/средняя мощность: 200 Вт.

Расчет конструкции и моделирование антенны

Расчет разрабатываемой антенны производился с помощью программы, реализованной в пакете MathCad в соответствии с предложенным в работе [5] алгоритмом синтеза ДН методом парциальных диаграмм Вудворда-Лоусона (Woodward-Lawson). В процессе синтеза было определено необходимое количество и размеры излучателей антенны, выбран тип, основные характеристики и размеры системы питания. Для улучшения конструкции были также рассчитаны входные согласующие линии-трансформаторы излучателей и системы питания.

Анализ и оптимизация антенны выполнены с помощью программы численного электродинамического моделирования Ansoft HFSS [6]. Конструктивный модуль HFSS позволяет, используя набор графических примитивов, создать виртуальную трехмерную модель исследуемого устройства. Расчетный модуль, использующий метод конечных элементов [7], проводит расчет

электромагнитного поля для построенной модели. Постпроцессор дает возможность провести обработку и детальный анализ полученных результатов. В процессе конструирования виртуальной модели устройства, задаются электрофизические параметры применяемых материалов, входной порт, определяются граничные условия на токопроводящих слоях антенны. Также задается частотный диапазон для анализа и определяются условия сходимости решения. Для оптимизации антенны использовался метод глобальной оптимизации на основе генетического алгоритма (ГА) [7], реализованного в примененном программном пакете. ГА показал наибольшую скорость сходимости решения [6] задачи поиска оптимальной конфигурации модели антенны. Конфигурация электродинамической модели антенны показана на рис. 1.

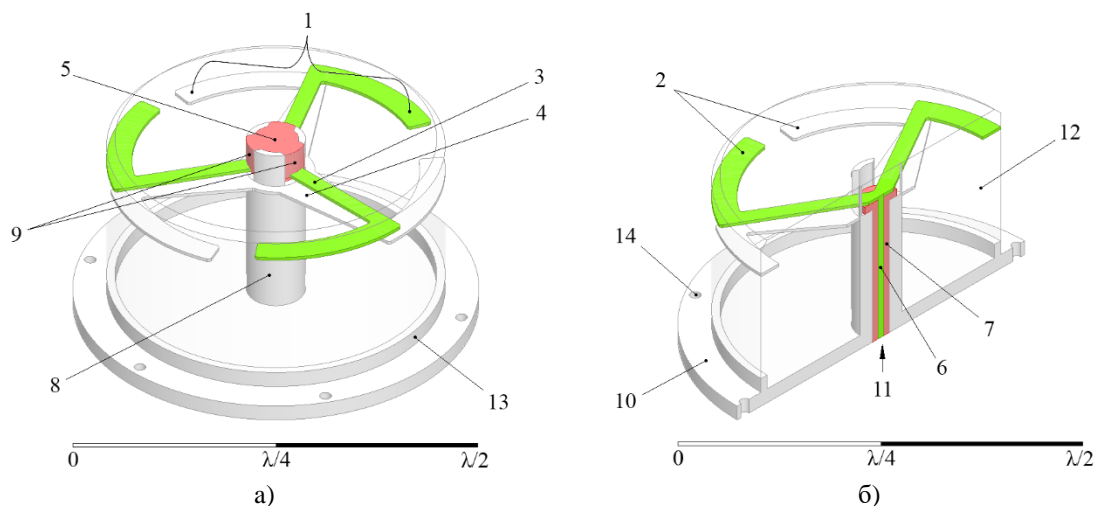


Рисунок 1 – Конфигурация электродинамической модели антенны: а) общий вид; б) вид в разрезе

Антенна включает три горизонтальных полуволновых вибратора (1), каждый из которых содержит два плеча (2), соединенных с соответствующим выходом трехканальной системы питания [8], выполненной в виде параллельного разветвления общей коаксиальной линии (входа антенны) на три несимметричных полосковых линии (выхода), образованных проводником (3), экраном (4) и фиксатором проводника (5). Фиксатор (5) на рис. 16 не показан. Общая коаксиальная линия состоит из центрального проводника (6), изолятора (7) и внешнего проводника (8), в верхней части которого для вывода проводника (3) вырезаны пазы (9). Изолятор (7) и фиксатор (5) выполнены на основе фторопласта. В нижней части конструкции расположен рефлектор (10), с тыльной стороны которого организован вход (11) антенны. Для защиты от климатических и внешних механических воздействий конструкция антенны размещена под радиопрозрачным обтекателем (12) из литьевого полиамида, имеющим герметичное сопряжение с выступом (13) на поверхности рефлектора (10). Конструкция рефлектора (10) также можно использовать в качестве присоединительного фланца, для этого в нем предусмотрены отверстия (14). Рефлектор (10) и внешний проводник (8) коаксиальной линии представляют собой единую деталь, изготавливаемую из алюминия по технологии токарной обработки и являющуюся несущей конструкцией для остальных элементов антенны – экрана (4), выполненного совместно с плечами (2) из листа алюминия, изолятора (7), проводника (3) выполненного совместно с плечами (2) из листа алюминия, соединенного пайкой с центральным проводником (6), фиксатора (5) и обтекателя (12). Такое построение обеспечивает упрощение конструкции, снижение трудоемкости изготовления и сборки антенны [9].

Принцип работы антенны

Сигнал, поступающий на вход антенны, распространяясь по общей коаксиальной линии системы питания, распределяется между ее выходами в соотношении 1:3 по мощности, синфазно возбуждая три горизонтальных вибратора. Каждый из вибраторов развернут относительно соседнего на 120° , образуя кольцевую антенную решетку из трех элементов, расположенных по окружности и формирующих круговую ДН в азимутальной плоскости. Плечи вибраторов выполнены в виде концентричных дуг, что обеспечивает расширение ДН каждого из вибраторов в Е-плоскости и, соответственно, уменьшение неравномерности азимутальной ДН антенны. Ввиду симметрии конструкции при синфазном равноамплитудном возбуждении вибраторов угломестная ДН антенны практически совпадает с ДН, формируемой в Н-плоскости отдельным взятым вибратором, размещенным над проводящим экраном на расстоянии около четверти длины волны, поэтому в углах места, близких к вертикальной оси, антенна не излучает. Рефлектор, расположенный в нижней части конструкции на расстоянии в четверть длины волны от вибраторов, позволяет повысить коэффициент усиления антенны за счет частичного экранирования

электромагнитного поля, излучаемого в нижнюю полусферу пространства. Согласование волнового сопротивления питающей несимметричной полосковой линии с входным сопротивлением вибратора обеспечивается экраном трапецевидной формы при длине несимметричной полосковой линии около четверти длины волны. Поскольку радиопрозрачный обтекатель выполнен на основе материала с диэлектрической проницаемостью $\epsilon \sim 4...5$, сигнал, излучаемый вибраторами, частично отражаясь от обтекателя, складывается с входным сигналом, что при достаточно близком расположении обтекателя к вибраторам приводит к смещению рабочего диапазона частот антенны в сторону его нижней границы. Поэтому при использовании в составе антенны обтекателя длины плечей вибраторов, расстояние от рефлектора до вибраторов, а также длины питающих несимметричных полосковых линий должны быть на 3...6% меньше четверти длины волны.

Основные результаты

На рис. 2 представлены характеристики ДН антенны горизонтальной поляризации, рассчитанные на центральной частоте при численном моделировании в пакете прикладных программ с использованием метода конечных элементов в частотной области. Сечения ДН в азимутальной плоскости на рис. 2б соответствует сплошной линии, сечения ДН в угломестной плоскости – штриховой линии. Неравномерность азимутальной ДН не превышает 0,5 дБ (коэффициент равномерности излучения антенны равен 94%). Нормированная угломестная ДН имеет следующие характеристики: ширина на уровне минус 3 дБ – не более 92° , уровень ДН в направлении горизонта – не менее минус 1 дБ, уровень ДН в направлении вертикальной оси – не более минус 24 дБ. Уровень кроссполаризационного излучения антенны – не более минус 16,4 дБ. Реализованный коэффициент усиления [1] антенны в рабочем диапазоне частот составляет не менее 2,5 дБ.

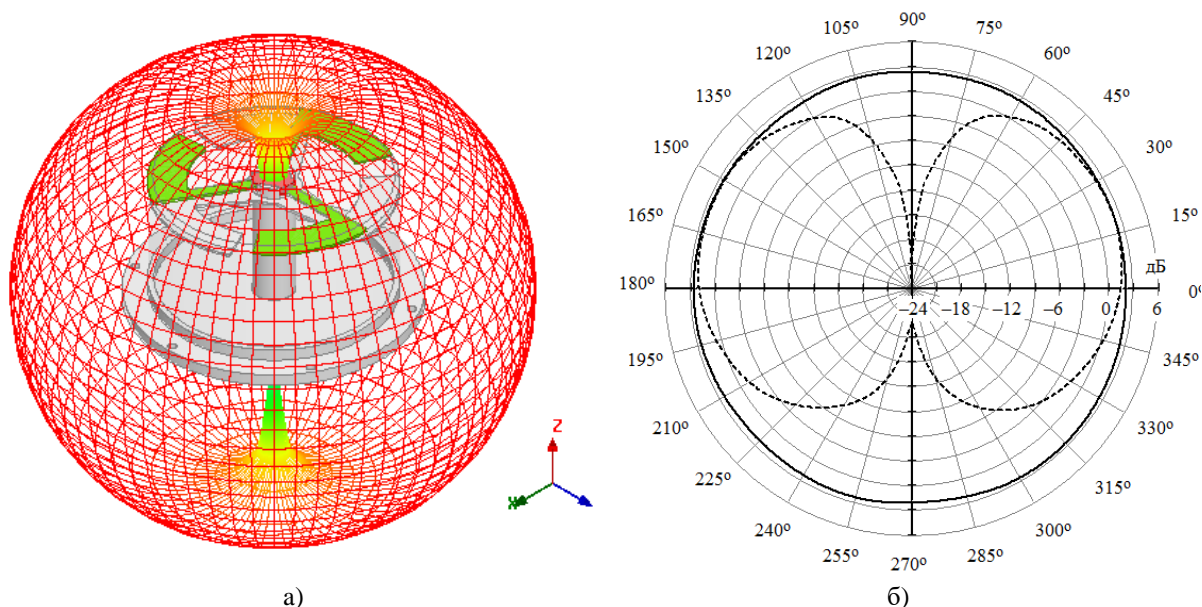


Рисунок 2 – Характеристики ДН антенны на центральной частоте:
а) пространственная ДН; б) сечения ДН в азимутальной и угломестной плоскостях

Частотная характеристика коэффициента отражения на входе антенны приведена на рис. 3. Сплошной линией на рис. 3 показана расчетная характеристика, штриховой – измеренная характеристика опытного образца антенны, вертикальные маркеры соответствуют центральной (f_0) и крайним частотам рабочего диапазона. Максимальное измеренное значение коэффициента отражения в рабочем диапазоне составляет 10,8 дБ. ДН опытного и первых серийных образцов антенны, измеренные в рабочей полосе частот, имеют следующие характеристики: неравномерность азимутальной ДН не превышает 0,7 дБ, ширина угломестной ДН на уровне минус 3 дБ составляет $91^\circ \pm 2^\circ$, уровень кроссполаризационного излучения антенны – не более минус 15,8 дБ, коэффициент усиления – не менее 2,3 дБ.

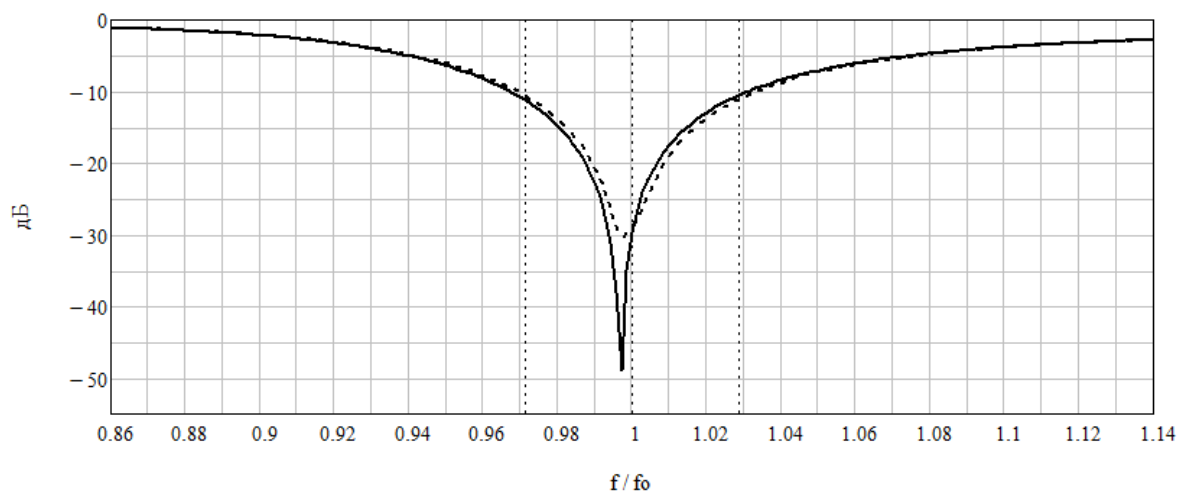


Рисунок 3 – Частотная характеристика коэффициента отражения на входе антенны

Результаты экспериментальной проверки характеристик опытного и первых серийных образцов антенны горизонтальной поляризации, в целом хорошо согласуются с результатами численного моделирования, приведенными на рис. 2 и рис. 3, что подтверждает корректность проведенных расчетов и заложенных технических решений.

Заключение

В соответствии с заданными техническими требованиями решены задачи синтеза, анализа и оптимизации антенны горизонтальной поляризации с круговой азимутальной диаграммой направленности. По результатам оптимизации электродинамической модели достигнуты максимальный коэффициент усиления и минимальная неравномерность азимутальной ДН при минимальных габаритах и массе конструкции, а также улучшены поляризационная и частотная избирательность антенны. Результаты экспериментальной проверки характеристик опытного и первых серийных образцов антенны хорошо согласуются с расчетными данными. При серийном производстве для минимизации ухода характеристик антенны по частоте при использовании диэлектрических материалов из разных партий целесообразно предусмотреть возможность настройки антенны путем регулировки длин плечей полуволновых конформных вибраторов.

Литература

1. Инденбом М.В. Антенные решетки подвижных обзорных РЛС. Теория, расчет, конструкции. – М.: Радиотехника, 2015. – 416 с.
2. Ротхаммель К., Кришке А. Антенны. Том 2. – М.: Данвел, 2005. – 414 с.
3. <http://www.schwarzbeck.de/Datenblatt/KRSH4786.pdf>
4. Устинов А.В., Сучков А.В. Отчет о результатах разработки и освоения в серийном производстве изделия АФС УКЛ ЦИВР.464659.007. – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2024. – 2 с.
5. Hansen R.C. Phased array antennas. 2d edition. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 547 p.
6. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. – М.: ЗАО «НПП «Родник», 2009. – 256 с.
7. Гринев А.Ю. Численные методы решения прикладных задач электродинамики. – М.: Радиотехника, 2012. – 336 с.
8. Воскресенский Д.И., Степаненко В.И., Филиппов В.С. и др. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. / Под ред. Д.И. Воскресенского. 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Радиотехника, 2003. – 632 с.
9. Патент РФ №2755403. МПК H01Q 9/00 (2006.01). Ненаправленная антенна горизонтальной поляризации / Сучков А.В., Устинов А.В. Заявл. 05.02.2021. №2021102614. Оpubл. 15.09.2021. Бюл. №26.

КОНСТРУКЦИЯ КОММУНИКАЦИОННОГО ETHERNET-МОДУЛЯ МЕЗОНИННОГО ТИПА

Раевский Г.П., Абдуллин Х.Х.
РТУ МИРЭА. Москва. РФ
geraevskiy@yandex.ru

В данной работе представлены результаты разработки конструкции коммуникационного Ethernet модуля мезонинного типа, обеспечивающего надежную, высокоскоростную связь между вычислительными ПЛИС (FPGA) платами, работающими с большим объемом данных, и внешними устройствами и отвечающего требованиям электромагнитной совместимости. В условиях высокой производительности ПЛИС очевидно возникают требования к высокой поточности данных между исполнительными вычислительными модулями и внешними терминалами. Существующие устройства-аналоги в силу своего назначения либо не предполагают использования высоких скоростей передачи данных и, тем самым, не отвечающих требованиям поставленной задачи, либо требуют доукомплектования дополнительными электронными изделиями, SFP модулями, в основном оперирующими с оптоволоконными сетями. В связи с этим была поставлена задача создания высокоскоростного мезонинного Ethernet модуля, действующего на скоростях до 5000 Мбит/с и работающего на протоколах Ethernet связи по витой паре.

Ключевые слова: ПЛИС, FPGA, FMC, мезонинная плата, Ethernet, PHY.

The design of the mezzanine-type ETHERNET communication module. Raevskiy G.P., Abdullin K.K., RTU MIREA.

This paper presents the results of the design development of a mezzanine-type Ethernet communication module that provides reliable, high-speed communication between computing FPGA (FPGA) boards working with a large amount of data and external devices and meets the requirements of electromagnetic compatibility. In conditions of high FPGA performance, there are obviously requirements for high data flow between the executive computing modules and external terminals. Existing analog devices, by virtue of their purpose, either do not involve the use of high data transfer speeds and, thus, do not meet the requirements of the task, or require additional electronic products, SFP modules, mainly operating with fiber-optic networks. In this regard, the task was set to create a high-speed mezzanine Ethernet module operating at speeds up to 5000 Mbit/s and running on Ethernet communication protocols.

Keywords: PLD, FPGA, FMC, mezzanine card, Ethernet, PHY.

Введение

Следствием все возрастающими с каждым годом объемами передачи информации является необходимость постоянного развития методологии конструирования, совершенствования приборного парка и разработки новых технологий производства таких систем. В данной работе представлены результаты поиска способов построения и разработки конструкции коммуникационного Ethernet модуля мезонинного типа.

Области применения

Функционально разрабатываемое устройство относится к приемо-передатчикам, обеспечивающим передачу данных по специальным протоколам от внешнего источника к потребителю, т.е. является интерфейсной платой, выполненной в виде дискретного печатного узла. Для передачи данных используются протоколы Ethernet – пожалуй наиболее освоённая технология построения локальных сетей как индустриального, так и базового потребительского характера.

Ethernet представляет собой целое семейство протоколов разных условий и назначения. В качестве физического носителя в большинстве случаев используются сети, оперирующие на экранированных и неэкранированных витых парах. При этом в Ethernet-модуле для медной витой пары применяются технологии 2.5GBASE-T и 5GBASE-T стандарта IEEE 802.3bz, обеспечивающая скорость передачи данных до 5000 мбит/с.

Конструктивно модуль выполнен в виде мезонинной платы. Такая технология допускает использование готовых печатных плат, модулей, контактирующих через специализированный разъем и размещающихся параллельно основному печатному узлу-носителю. За счет этого достигается гибкость конфигурации и обеспечивается модульный характер конструкции устройства. Благодаря этому становится возможной оперативная замена и подсоединение к изделию нужного функционального узла.

Разрабатываемое устройство подсоединено к плате-основанию с установленным FPGA чипом (интегральная схема из категории ПЛИС). Такой класс FPGA чипов на плате-носителе создавался с целью и на технологии свободного программирования и перепрограммирования внутренней архитектуры интегральной схемы. Как следствие, FPGA обеспечивает возможность обработки и участие в большом

количестве операций с большим объемом информации, а также обладает широким спектром функциональных возможностей и высокой универсальностью. В связи с этим в процессе поиска решения проблемы связи с внешней средой и доступом к самой схеме учитывалось разнообразие и различие как внешних устройств, так и интерфейсов связи между ними. Этим задачам отвечает отдельная категория мезонинных плат с отдельным форм-фактором, FPGA Mezzanine Card (FMC), специально предназначенных для работы с FPGA чипом.

Исследование рынка показало, что работающие с витой парой высокоскоростные мезонинные платы с отдельным форм-фактором, FPGA Mezzanine Card (FMC), требуют установки дополнительных элементов в виде SFP модулей, обеспечивающих обработку, модуляцию, демодуляцию и кодирование сигнала, что в целом заметно увеличивает стоимость всего изделия. Для снижения стоимости предлагается установка PHY чипов, которые отвечают всем выставляемым в стандартах Ethernet требованиям к приему-передаче данных, непосредственно на плату FMC. Правильный выбор преобразующего сигнал PHY чипа для связи по витой паре позволяет обеспечить ту же гибкость в выборе скорости потока передачи данных, которая достигается в устройствах-аналогах с SFP модулем, но при существенно более низких материальных затратах.

При обзоре рынка аналогичных устройств в качестве устройств-аналогов выбраны следующие модули: Мезонинный модуль ВОЛС SFP/SFP+ FM401S от АО «ИнСис», SFM-4F10S от ЗАО «Скан Инжиниринг телеком». Из основных характеристик данных моделей следует выделить:

- гибкий выбор SFP модулей для работы как с оптоволоком на больших дистанциях, так и с медной витой парой на более коротких расстояниях;
- использование разъема HPC, обладающего 400 контактами для подсоединения к несущей плате;
- соответствие форм-факторов стандарту ANSI/VITA 57.1 FMC.

Хотя такого рода модели обладают большой вариативностью в выборе стандарта передачи данных, стоимость приборов, работающих по витой паре, оказывается весьма высокой. Для снижения стоимости изделий, работающих на относительно небольших расстояниях, достаточно ограничить условия работы устройств-аналогов областью коммуникации через “медную” среду, заменяя функционал SFP модулей на PHY чипы.

Анализ структурной схемы

Структурная схема устройства приведена на рисунке 1. Назначением коммуникационного модуля является преобразование АЦП, прием-передача пакетов данных между внешними устройствами и исполнительным модулем FPGA. Соединение обеспечивается по стандартам Ethernet 2.5GBASE-T и 5GBASE-T, в соответствии с которыми описываются два уровня связи: каналный и физический (англ. physical layer, от название которого происходит название чипа PHY). Данный прибор выполняет функцию физического уровня, а именно, преобразование аналогового сигнала в конечный оцифрованный пакет данных для последующего считывания устройством адресатом.

Устройство включает два независимых канала. Каждый канал содержит устройства входа, выхода, автогенератор и PHY чип. Прибор работает следующим образом: на приемопередатчик через входной разъем поступает аналоговый сигнал, где при помощи тактирующего сигнала с автогенератора проходит оцифровывание. Далее сигнал кодируется, кадрируется в шифраторе и передается на выход. При поступлении сигнала с несущей платы порядок выполняемых действий изделием обратный. Структурные блоки приемопередатчик и шифратор/дешифратор выполнены в виде единой интегральной схемы PHY.

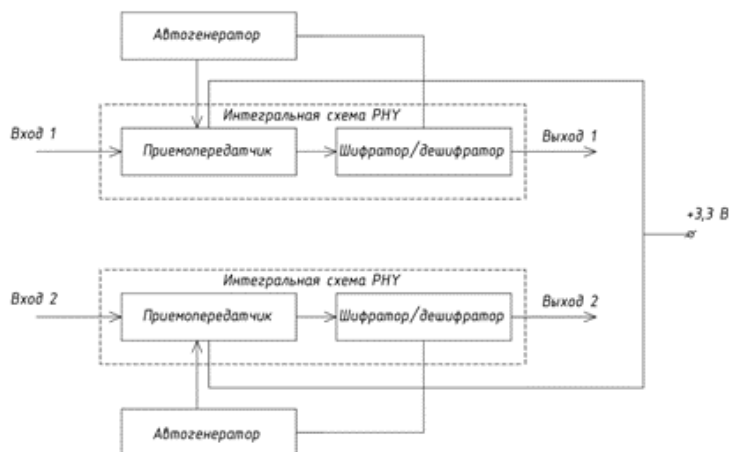


Рисунок 1 – структурная схема коммуникационного Ethernet модуля мезонинного типа

Конструкция модуля

Коммуникационный Ethernet модуль мезонинного типа относится к отдельной категории устройств со своим форм-фактором, приведенным в стандарте ANSI/VITA 57.4 FMC+. Типоразмер FMC+ плат представлен на рисунке 2. Как видно из рисунка существуют несколько типоразмеров в зависимости от требуемой конфигурации. Зоны 1 и 2 являются основными – остальные зоны носят опциональный характер. Зона 3 используется, если необходимо расширение площади для отвода тепла или установки конструкции охлаждения печатного узлов. Зона 4 используется для дополнительного высокоскоростного разъема HSPCе. Также следует отметить, что существует и типоразмер с удвоенной шириной.

В качестве форм-фактора разрабатываемого устройства используется конфигурация из двух зон с габаритными размерами 78,5x69 мм.

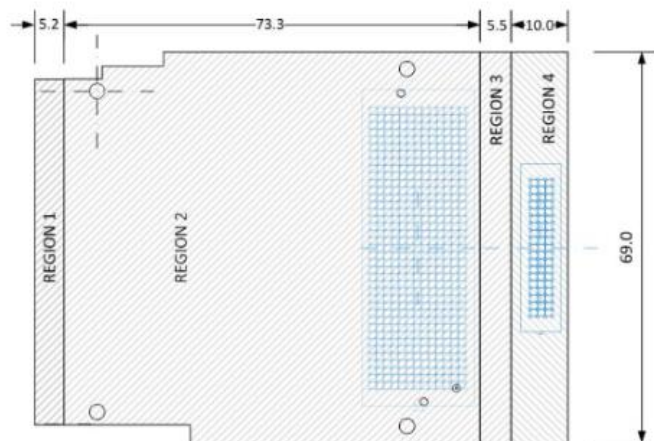


Рисунок 2 – Форм-фактор FMC+ плат

Согласно требованиям к интерфейсной плате, для конструкции устройства важна целостность и непрерывность передачи данных, поэтому разработка конструкции печатной платы коммуникационного модуля требует тщательного подхода к электромагнитной совместимости платы. В качестве основания применяется печатная плата, состоящая из четырех слоев: двух внешних сигнальных и двух внутренних референтных, представленных слоем питания и земли. Внешние сигнальные слои экранируются внутренними (земли и питания), что исключает их электромагнитное взаимодействие. Кроме того, такая структура обеспечивает гибкость в компоновке электрорадиоэлементов и трассировке платы. Структура печатной платы представлена на рисунке 3.

The screenshot shows the Layer Stack Manager interface. The left panel displays the properties of the selected layer (POWER). The right panel shows a table of the board's layers.

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Df
	Top Overlay		Overlay				
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01016mm	3.5	
1	Top Layer		Signal	1oz	0.018mm		
	Dielectric 2	PP-006	Prepreg		0.315mm	4.8	0.02
2	GROUND	CF-004	Plane	1oz	0.018mm		
	Dielectric 1	FR-4	Dielectric		1.164mm	4.8	
3	POWER	CF-004	Plane	1oz	0.018mm		
	Dielectric 3	PP-006	Prepreg		0.315mm	4.8	0.02
4	Bottom Layer		Signal	1oz	0.018mm		
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.01016mm	3.5	
	Bottom Overlay		Overlay				

Рисунок 3 – Структура печатной платы модуля

В качестве материала платы используется FR4 с относительной диэлектрической проницаемостью 4,8. Для определения класса точности печатной платы и минимальной ширины проводника используются программы для расчета топологий и параметров проводников печатных плат типа Saturn PCB Design. В рамках программы проводится поиск ширины проводника, соответствующего импедансу, предъявленному в регламентах к построению интерфейсных Ethernet плат. Результаты представлены на рисунке 4 и 5.

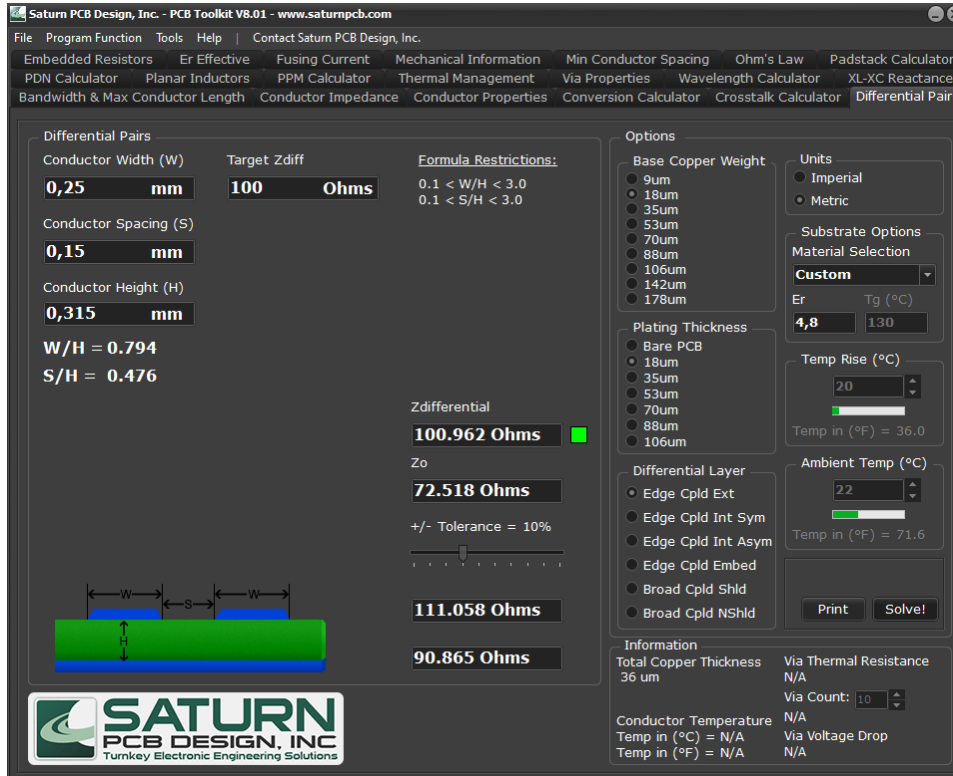


Рисунок 4 – Результаты расчета ширины проводника в программе Saturn PCB design

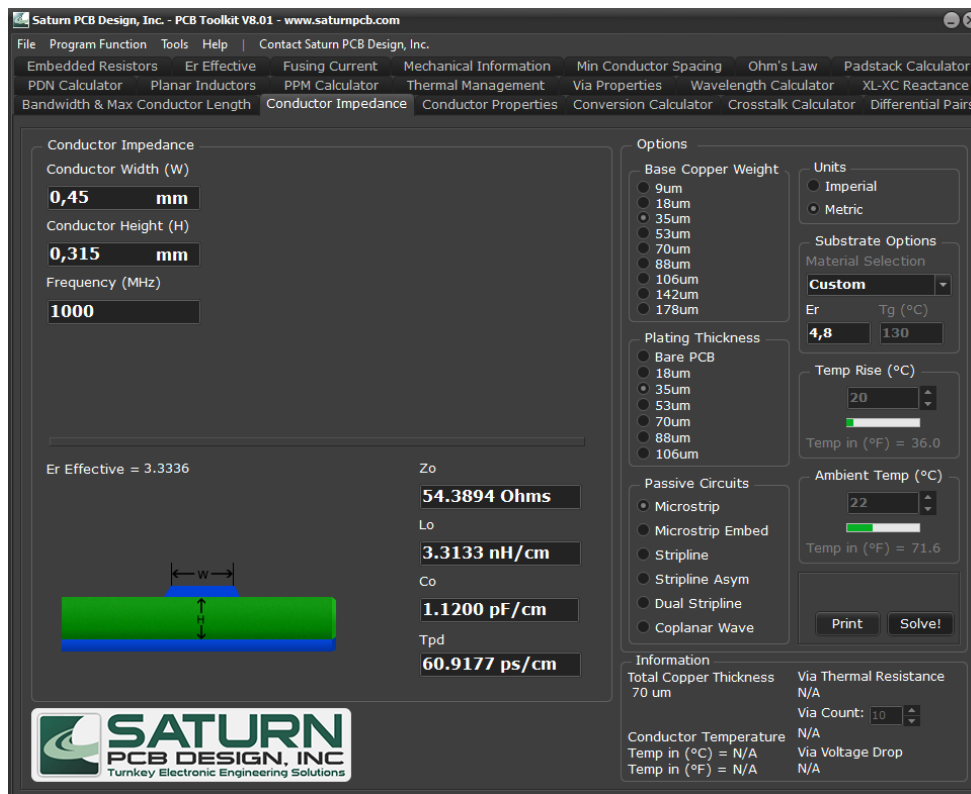


Рисунок 5 - результаты расчета ширины проводника в программе Saturn PCB design

Важным этапом процесса конструирования являлся учет компоновочной базы модуля. Из-за наличия большого количества выводов элемент РНУ изготавливается в BGA (ball grid array) корпусе, имеющем вместо обычных штыревых выводов массив шариков припоя. Такая конструкция позволяет увеличить коэффициент полезной использованной площади на основании ИС при сохранении минимальных габаритов корпуса ИС. Однако, следует отметить, что при такой технологии увеличивается сложность трассировки печатной платы из-за высокой плотности расположения шариков. В используемом РНУ чипе Marvell 88EE2110 расстояние между выводами равно 0,8 мм. При этом с учетом допусков на размеры элементов печатной платы, полученных для значений ширины проводника и технологических ограничений при производстве печатных плат, для печатной платы коммуникационного модуля Ethernet требуется пятый класс точности в соответствии с ГОСТ Р 53429-2009.

Заключение

В процессе работы проведен анализ рынка аналогов, разработана конструкция печатной платы коммуникационного Ethernet модуля мезонинного типа. Ее исследования в программе Saturn PCB Design позволили провести выбор характеристик и элементов параметров трассировки печатной платы, определены возможности дальнейшей модификации существующих конструкций изделий-аналогов для достижения высоких показателей качества высокоскоростной, целостной передачи данных при снижении себестоимости изделия.

Литература

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2005.
2. Gigabit Ethernet 101: Basics to implementation [Электронный ресурс]. URL: <https://resources.altium.com/p/gigabit-ethernet-101-basics-implementation> (дата обращения 16.05.2024)
3. 11 Best High-Speed PCB routing Practices [Электронный ресурс]. URL: <https://www.protoexpress.com/blog/best-high-speed-pcb-routing-practices-text=The%20stitching%20capacitor%20enables%20the,are%20between%2010nF%20and%20100nF>. (дата обращения 16.05.2024)
4. Frequently asked questions about FMC and FMC+ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vita.com/FMC-FAQ> (дата обращения 16.05.2024)
5. Проектирование современных печатных плат. Часть 4. Трассировка сигнальных линий. Минимизация индуктивности [Электронный ресурс]. URL: <https://kit-e.ru/proektirovanie-pcb-4> (дата обращения 16.05.2024).
6. Е.Б. Романов, Основы конструирования электронных средств: практикум: учеб.-метод. пособие / Е.Б. Романов, О.В. Кузнецова, А.Ю. Кузнецов. – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 53 с.
7. Слюсар В.И. Новые стандарты промышленных компьютерных систем. //Электроника: наука, технология, бизнес. 2005. № 6. С. 52-53.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Уткин М.В.*, Грачев Н.Н.** Уткин Б.В.** Андреева А.А.**

*НИУ «МЭИ», **Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
+7 (913) 517-40-01, UtkinMikV@mpei.ru

В статье рассматривается проектирование и расчёт параметров антенной решетки с учетом условий эксплуатации и требований технического задания. Основное внимание уделено выбору конструктивных параметров элементов антенной решётки, таких как диэлектрическая проницаемость, радиус излучателя и расстояние между элементами, а также расчету диаграммы направленности. Особое внимание уделено анализу уровня боковых лепестков диаграммы направленности.

Ключевые слова: антенная решётка, диаграмма направленности, уровень боковых лепестков, множитель направленности, радиус излучателя.

Design and calculation of the radiative pattern of a microstrip antenna array. **Grachev N.N., **Utkin B.V., *Utkin M.V., **Andreeva A.A., *National Research University "Moscow Power Engineering Institute", ** HSE University.

The paper focuses on the design and calculation of antenna array parameters, considering operating conditions and technical requirements. Special attention is given to the selection of constructive parameters of the

array elements, such as dielectric permittivity, emitter radius, and spacing between elements, as well as the computation of the radiation pattern. The analysis emphasizes the reduction of sidelobe levels through the application of unequal amplitude current distribution methods.

Keywords: antenna array, radiation pattern, sidelobe level, directivity factor, emitter radius.

Введение

В условиях активного развития радиотехнических систем и беспроводных технологий антенны и антенные решётки играют ключевую роль в обеспечении качественного и стабильного приёма и передачи сигналов. Антенные решетки находят широкое применение в телекоммуникациях, радарх, системах спутниковой связи и других областях, где требуется высокая точность направленного излучения и минимизация потерь энергии. Проектирование таких антенных систем требует особого внимания к их параметрам, включая диаграммы направленности, уровень боковых лепестков и множитель направленности.

Учитывая требования к точности и эффективности, разработка антенных решеток должна включать в себя детальный расчёт и анализ условий эксплуатации, а также учёт особенностей конструктивных параметров элементов решётки. Для обеспечения надёжности и стабильности работы антенн в различных условиях необходимы точные расчеты диаграмм направленности, что позволяет минимизировать потери энергии и достичь максимальной производительности антенной системы.

Постановка проблемы

Основной проблемой при проектировании антенных решёток является необходимость достижения заданных параметров диаграммы направленности при минимизации уровня боковых лепестков и обеспечения ширины главного лепестка, соответствующей требованиям технического задания. Часто возникают трудности в подборе конструктивных параметров элементов решетки и их оптимальном расположении, что приводит к отклонениям в характеристиках излучения. Для решения данной проблемы требуется детальный расчет множителей направленности и корректировка распределения токов, что позволит улучшить характеристики антенной системы.

Согласно заданным требованиям, ширина диаграммы направленности антенной решётки должна составлять 12 градусов, уровень боковых лепестков не более минус 13 дБ, рабочая частота 10 ГГц, относительная полоса частот 25%.

Основная часть

Выбор и расчет размеров и диаграммы направленности элемента решетки. На первом этапе работы необходимо произвести расчёт параметров, размеров и диаграммы направленности решетки. При проведении расчётов необходимо, чтобы полученные в результате параметры удовлетворяли поставленному техническому заданию.

Основными параметрами для элемента антенной решетки являются диэлектрическая проницаемость ϵ и толщина диэлектрика, а также радиус кругового излучателя, причем при определении параметров диэлектрика следует руководствоваться существующими на рынке образцами.

Определение параметров элемента антенной решётки производилось следующим образом. Используя параметры существующих на рынке образцов, определялся эффективный радиус элемента антенной решетки по формуле, взятой из [1-2]:

$$a_{\text{эф}} = a \sqrt{1 + \frac{2d}{\pi a \epsilon_1 (\ln \frac{\pi a}{2d} + 1,7726)}} \quad (1)$$

По найденному эффективному радиусу определялась рабочая частота f_0 по формуле, взятой из [1]:

$$f_0 = \frac{1,841c}{2\pi a_{\text{эф}} \sqrt{\epsilon_1}} \quad (2)$$

Полученная частота сравнивалась с рабочей частотой 10 ГГц, представленной в техническом задании.

В качестве материала для диэлектрика был выбран материал фирмы Rogers RO3003PTFE с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=3,0$ и толщиной 1,27 мм. Радиус излучателя был выбран равным 5 мм [3].

Для выбранных параметров элемента антенной решетки по формуле (1) был рассчитан эффективный радиус, который составил 5 мм и частота f_0 , которая составила 10,42 ГГц. Полученная частота отличается от рабочей частоты 10 ГГц на 4 %, следовательно, параметры для элемента антенной решетки выбраны правильно.

На следующем этапе необходимо рассчитать диаграмму направленности элемента антенной решетки. Для расчета диаграммы направленности определяются компоненты пространственной части

напряжённости электрического поля в дальней зоне $E_\theta(\theta, \varphi)$ и $E_\varphi(\theta, \varphi)$. Компонента $E_\theta(\theta, \varphi)$ рассчитывается по формуле, взятой из [1]:

$$E_\theta(\theta, \varphi) = \cos(m\varphi) \cdot J_m(k_0 a \cdot \sin \theta) \times \frac{1}{k_0 d} \cdot \frac{\cos \theta}{j\xi + \varepsilon_1 \cdot \cos \theta \cdot \text{ctg}(\xi k_0 d)} \cdot \frac{\varepsilon_1}{\xi} \quad (3)$$

где $k_0 = \frac{2\pi f}{c} = 209,44$; волновое число; $\xi = \sqrt{\varepsilon_1 - \sin^2 \theta}$; θ, φ - пространственные координаты в полярной системе координат, град.

Компонента $E_\varphi(\theta, \varphi)$ рассчитывается по формуле, взятой из [1]:

$$E_\varphi(\theta, \varphi) = \sin(m\varphi) \cdot \frac{J_m(k_0 a \cdot \sin \theta)}{k_0 a \cdot \sin \theta} \cdot \frac{1}{k_0 d} \cdot \frac{\cos \theta}{j \cos \theta + \xi \cdot \text{ctg}(\xi k_0 d)} \quad (4)$$

Диаграмма направленности элемента антенной решетки рассчитывается как результирующая компонент $E_\theta(\theta, \varphi)$ и $E_\varphi(\theta, \varphi)$:

$$E(\theta, \varphi) = \sqrt{E_\theta^2(\theta, \varphi) + E_\varphi^2(\theta, \varphi)} \quad (5)$$

Поскольку формулы (3), (4), (5) представляют собой зависимость напряженности электрического поля от пространственных координат, для построения диаграмм направленности в главных плоскостях координата φ фиксируется и принимается равной 0° и 90° . Результат построения диаграммы направленности элемента антенной решетки в декартовых координатах при $\varphi=0^\circ$ представлен на рисунке 1а, а при $\varphi=90^\circ$ - на рисунке 1б. При этом следует отметить, что для дальнейшего анализа для всех диаграмм направленности проводилась их нормировка на максимальное значение.

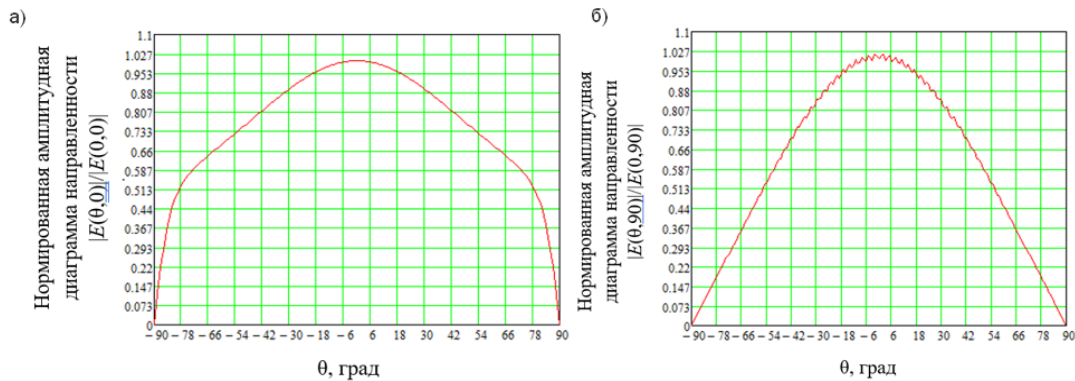


Рисунок 1 – Диаграмма направленности элемента антенной решетки при $\varphi=0^\circ$ (рис. а) и при $\varphi=90^\circ$ (рис. б)

Из анализа построенных диаграмм следует отметить, что ширина диаграммы направленности элемента антенной решетки составляет 86° .

Расчёт диаграммы направленности антенной решётки. Для расчета диаграммы направленности антенной решётки необходимо рассчитать множитель направленности. Для определения множителя направленности антенной решётки необходимо определить расположение и количество элементов, расстояние между элементами. Расположение элементов для проектируемой антенной решетки определяется техническим заданием – элементы антенной решетки должны быть расположены по сторонам ромба. Кроме того, каждый угол ромба был выбран равным 90° . По этой причине для расчета множителя направленности возможно использовать формулу для прямоугольного расположения элементов антенной решётки [3]. Формула для расчета множителя направленности, учитывающая расположение элементов по оси Ox имеет вид:

$$f_{N_x}(\theta) = \frac{\sin[0,5N_x(k_0 d_x \sin \theta_x)]}{N_x \sin[0,5N_x(k_0 d_x \sin \theta_x)]} \quad (6)$$

где N_x – количество излучателей вдоль оси Ox ;

d_x – расстояние между излучателями вдоль оси Ox .

$$f_{N_y}(\theta) = \frac{\sin[0,5N_y(k_0 d_y \sin \theta_y)]}{N_y \sin[0,5N_y(k_0 d_y \sin \theta_y)]} \quad (7)$$

где N_y – количество излучателей вдоль оси Oy ;

d_y – расстояние между излучателями вдоль оси Oy .

Для обеспечения требуемой в техническом задании ширины главного лепестка диаграммы направленности 12° была выбрана решётка с шестью элементами по оси Ox и по оси Oy с расстоянием между элементами 17 мм.

Результат построения множителя направленности по формуле (6) представлен на рисунке 2а. Поскольку расстояние между элементами и количество элементов по обеим осям одинаковое, для примера представлен график множителя направленности по оси Ox . График для множителя направленности по оси Oy имеет такой же вид.

Диаграмма направленности проектируемой антенной решетки рассчитывается как произведение диаграммы направленности элемента решетки на множитель направленности [4-5]. При этом необходимо учитывать, что поскольку требуется получить диаграммы направленности в двух плоскостях, необходимо умножить отдельно диаграммы направленности элемента антенной решетки на множители направленности по осям Ox и Oy .

Результат построения диаграммы направленности антенной решетки в декартовых координатах при $\varphi=0^\circ$ представлен на рисунке 2б, а при $\varphi=90^\circ$ – на рисунке 3а

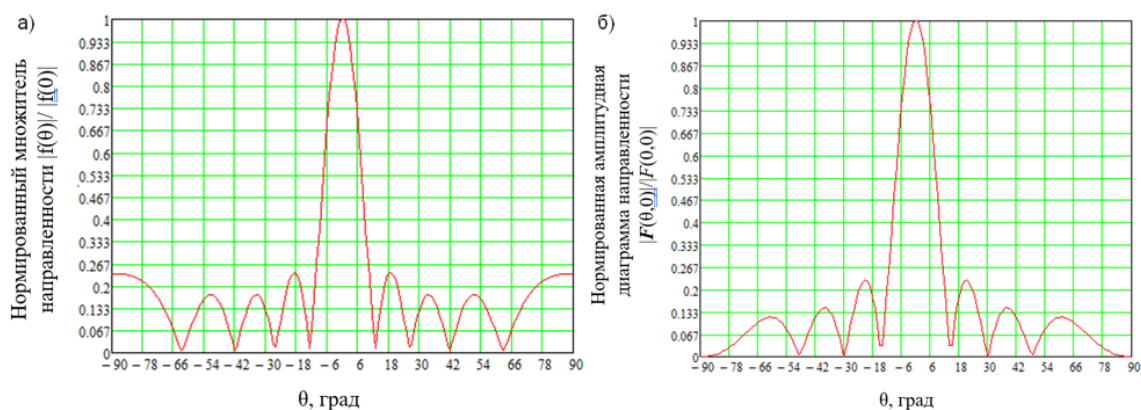


Рисунок 2 - Множитель направленности проектируемой антенной решетки для расположения элементов по оси Ox (рис. а) и диаграмма направленности антенной решетки в декартовых координатах при $\varphi=0^\circ$ (рис. б)

С помощью трассировки по данным была определена ширина главного лепестка диаграммы направленности. Она составила 12 градусов, что удовлетворяет техническому заданию.

Для оценки уровня боковых лепестков необходимо построить диаграмму направленности в децибелах. Результат построения диаграммы направленности антенной решетки в децибелах при $\varphi=0^\circ$ представлен на рисунке 3б.

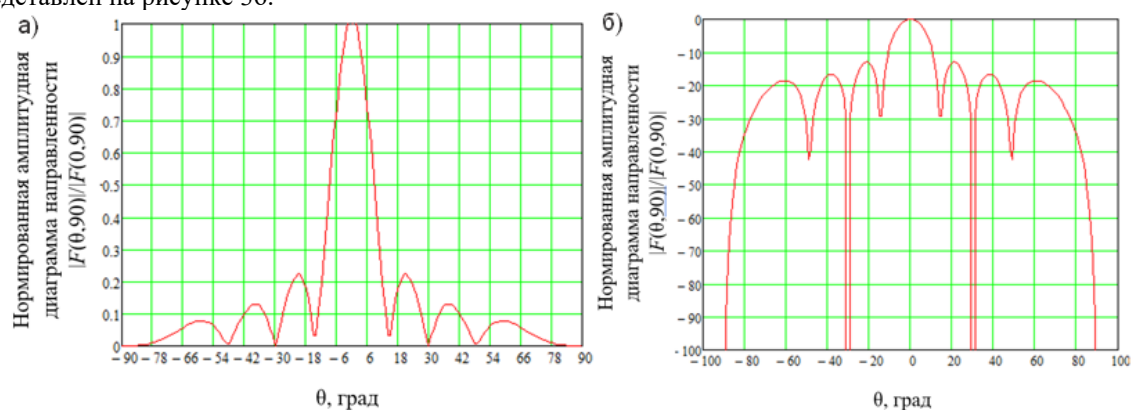


Рисунок 3 - Диаграмма направленности антенной решетки в децибелах при $\varphi=0^\circ$ (рис. а) и диаграмма направленности антенной решетки в декартовых координатах при $\varphi=90^\circ$ (рис. б)

Анализ построенной диаграммы показывает, что уровень боковых лепестков составляет -13,842 дБ, что удовлетворяет техническому заданию. В связи с этим возникает необходимость корректировки параметров антенной решетки с целью снижения уровня боковых лепестков.

Заключение

В представленной статье представлены результаты расчёта микрополосковой антенной решетки. Для этого была рассчитана диаграмма направленности одного элемента, а затем множитель направленности решетки. При расчёте множителя направленности антенной решетки при равноамплитудном распределении уровень боковых лепестков оказался равным -13,842 дБ, а ширина диаграммы направленности 12 градусов, что удовлетворяет техническому заданию., при этом ширина диаграммы направленности составила 12°, что соответствует поставленному техническому заданию.

Литература

1. Панченко Б.А., Нефёдов Е.И. Микрополосковые антенны / Б.А. Панченко, Е.И. Нефёдов. - М. : Радио и связь, 1986. - 143,[2] с.
2. Гошин Г.Г. Антенны и фидеры: Сборник задач с формулами и решениями для практических работ/ Гошин Г.Г. — Томск: ТУСУР, 2012. — 237 с.
3. Гошин Г.Г. Антенны: Учебное пособие/ Гошин Г.Г. — Томск: ТУСУР, 2012. —145 с.
4. RogersCorporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.eltn.ru/editor/upload-files/Catalog_2015.pdf.
5. Воскресенский Д.И. Проектирование фазированных антенных решеток [Текст]: учебное пособие для вузов / Воскресенский Д.И. [и др.] ; ред. Воскресенский Д.И.. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Радиотехника, 2012. - 744 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА CST MWS

Уткин М.В.*, Грачев Н.Н.,** Уткин Б.В.**, Андреева А.А.**

*НИУ «МЭИ», **Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
+7 (913) 517-40-01, UtkinMikV@mpei.ru

В статье проведено численное моделирование антенной решётки с использованием пакета CST MWS. Исследованы конструктивные параметры элементов решётки, включая радиус излучателя, толщину и диэлектрическую проницаемость материала. Представлены результаты моделирования диаграмм направленности, частотной зависимости коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и коэффициента усиления. Особое внимание уделено исследованию ширины основного лепестка и уровня боковых лепестков диаграммы направленности. Также рассмотрены частотные характеристики антенной решётки, включая их поведение на границах рабочего диапазона частот.

Ключевые слова: антенная решётка, численное моделирование, диаграмма направленности, коэффициент усиления, CST MWS, КСВН.

Simulation of microstrip antenna array using CST MWS. **Grachev N.N., **Utkin B.V., *Utkin M.V., **Andreeva A.A. *National Research University "Moscow Power Engineering Institute", ** HSE University.

The paper focuses on the numerical simulation of an antenna array using the CST MWS package. Special attention is given to the selection of the array elements' constructive parameters, such as dielectric permittivity, emitter radius, and spacing between elements, as well as the computation of the radiation pattern. The analysis emphasizes the width of the main lobe and the reduction of sidelobe levels. Additionally, the frequency dependence of the gain and voltage standing wave ratio (VSWR) across the operating frequency range is presented.

Keywords: antenna array, radiation pattern, sidelobe level, gain, CST MWS, VSWR, emitter radius.

Введение

В условиях стремительного развития современных радиотехнических систем и растущих требований к беспроводной связи, антенны и антенные решётки остаются важнейшими элементами, обеспечивающими надёжную передачу и приём сигналов. Антенные решётки широко применяются в таких областях, как телекоммуникации, радары, системы спутниковой связи, а также в специализированных областях, где необходимы точная направленность излучения и минимизация потерь энергии. Проектирование таких антенных систем требует детализированного расчёта их параметров, включая диаграммы направленности, коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН), коэффициент усиления и уровень боковых лепестков [1-2].

В последние годы наблюдается значительный рост интереса к микрополосковым антенным решёткам, которые отличаются высокой эффективностью, малыми размерами и низкой стоимостью. Эти антенные решётки представляют собой массивы микрополосковых элементов, которые могут быть спроектированы для работы в различных диапазонах частот. Микрополосковые антенные решётки нашли

широкое применение в современных радиотехнических системах, включая беспроводные локальные сети, радиолокационные системы и системы спутниковой связи.

Для обеспечения стабильной работы антенных систем при различных условиях эксплуатации, важно учитывать конструктивные особенности элементов антенной решётки. В данном контексте численное моделирование становится необходимым инструментом для анализа и оптимизации характеристик антенных решёток. Точные расчёты диаграмм направленности и частотных характеристик позволяют снизить энергетические потери и повысить эффективность работы антенной системы [3-4].

Одним из ключевых направлений исследований в области микрополосковых антенных решёток является разработка новых методов проектирования и оптимизации их характеристик. Использование современных компьютерных технологий и численных методов позволяет создавать высокоэффективные антенные решётки с заданными характеристиками. Кроме того, разработка новых материалов и технологий производства микрополосковых элементов открывает новые возможности для создания высокопроизводительных антенных решёток.

Постановка проблемы

Основной проблемой при проектировании антенных решёток является необходимость обеспечения стабильных характеристик диаграммы направленности, таких как ширина главного лепестка и уровень боковых лепестков, при соблюдении требований технического задания. Это связано с тем, что антенные решётки должны обеспечивать высокую направленность и низкий уровень боковых лепестков для эффективного приема и передачи сигналов.

Особые трудности вызывает подбор оптимальных конструктивных параметров элементов решётки, включая радиус излучателя, толщину и диэлектрическую проницаемость материала, а также выбор расстояния между элементами. Эти факторы могут привести к отклонениям в характеристиках излучения и снижению эффективности системы.

Кроме того, при проектировании антенных решёток необходимо учитывать влияние различных факторов, таких как частотные характеристики, размеры и форма элементов, расстояние между элементами, тип используемого материала и другие. Все эти факторы могут влиять на характеристики диаграммы направленности и эффективность системы.

Согласно заданным требованиям, ширина диаграммы направленности антенной решётки должна составлять 12 градусов, уровень боковых лепестков не более минус 13 дБ, рабочая частота 10 ГГц, относительная полоса частот 25%.

Основная часть

В качестве материала для диэлектрика был выбран материал фирмы Rogers RO3003PTFE с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=3,0$ и толщиной 1,27 мм. Радиус излучателя был выбран равным 5 мм [5].

Результат моделирования элемента антенной решётки в пакете CST MWS представлен на рисунке 1.

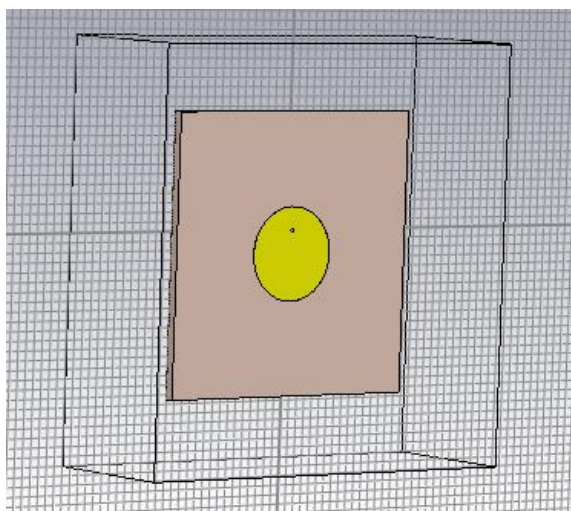


Рисунок 1 – Схематическое представление элемента антенной решётки, модель которого построена в пакете CST MWS

На основе разработанной модели были построены диаграммы направленности элемента антенной решётки. Результаты визуализации диаграмм направленности в линейном масштабе при различных углах

φ (0° и 90°) представлены на рисунках 2а и 2б соответственно, созданных с помощью пакета CST MWS. Кроме того, на рисунке 3 показана частотная зависимость коэффициента стоячей волны по напряжению

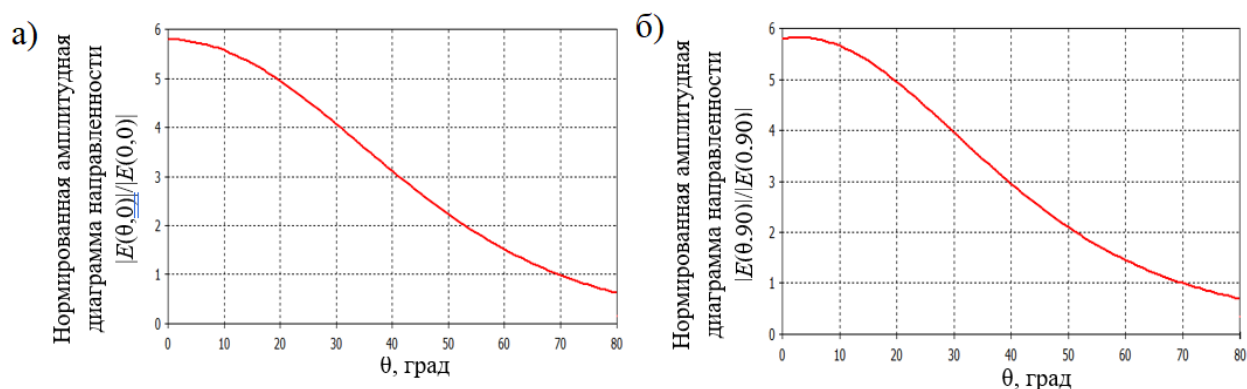


Рисунок 2 – Диаграмма направленности элемента антенной решётки, которая построена в пакете CST MWS в линейном масштабе при $\varphi=0^\circ$ (рис. а) и при $\varphi=90^\circ$ (рис. б)

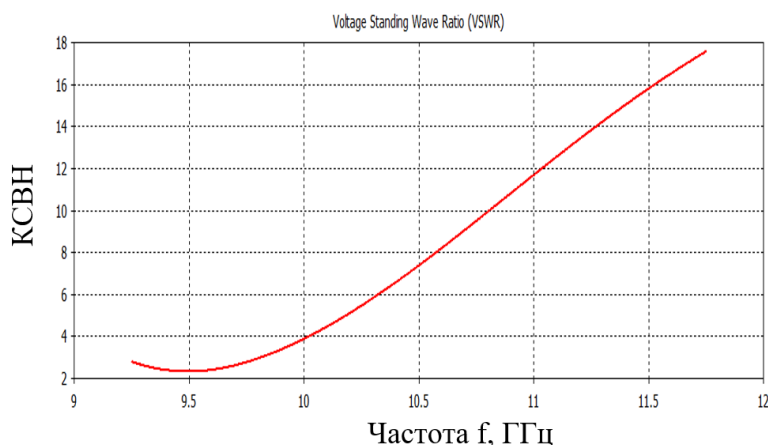


Рисунок 3 – Частотная зависимость КСВН, построенная в пакете CST MWS в линейном масштабе

Поскольку пакет CST MWS выполняет построение диаграммы направленности при $\theta \in [0, 180]$, рассматривается только та часть диаграммы направленности, которая лежит в правой полуплоскости декартовой системы координат. Кроме того, максимальное значение диаграммы направленности не равно 1, так как данный пакет представляет диаграмму направленности, умноженную на коэффициент усиления.

Анализ построенных диаграмм направленности показал, что ширина главного лепестка составляет 81° , что соответствует расчётному значению 86° .

На следующем этапе было проведено моделирование антенной решётки. Исходными данными для проектирования было количество элементов и расстояние между элементами. Согласно проведённым расчётам, данная антенная решётка содержит 36 элементов, которые расположены по 6 элементов по сторонам ромба (квадрата). Расстояние между элементами составляет 17 мм. Результат моделирования антенной решётки в пакете CST MWS представлен на рисунке 4.

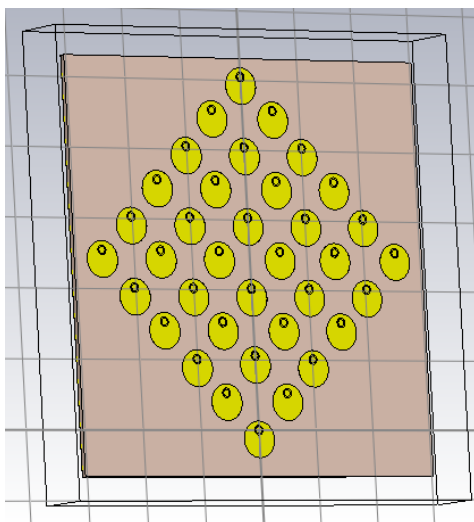


Рисунок 4 – Модель антенной решётки, построенная в пакете CST MWS

В результате разработки модели были сформированы диаграммы направленности антенной решётки, а также определены зависимости коэффициента усиления и частотной характеристики коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН), что позволило получить полную картину поведения антенной решётки в различных режимах работы. Диаграмма направленности элемента антенной решётки, построенная в пакете CST MWS в линейном масштабе при $\varphi=0^\circ$, представлена рисунке 5а, а при $\varphi=90^\circ$ - на рисунке 5б. Зависимость коэффициента усиления, построенная в пакете CST MWS в линейном масштабе, представлена на рисунке 6а.

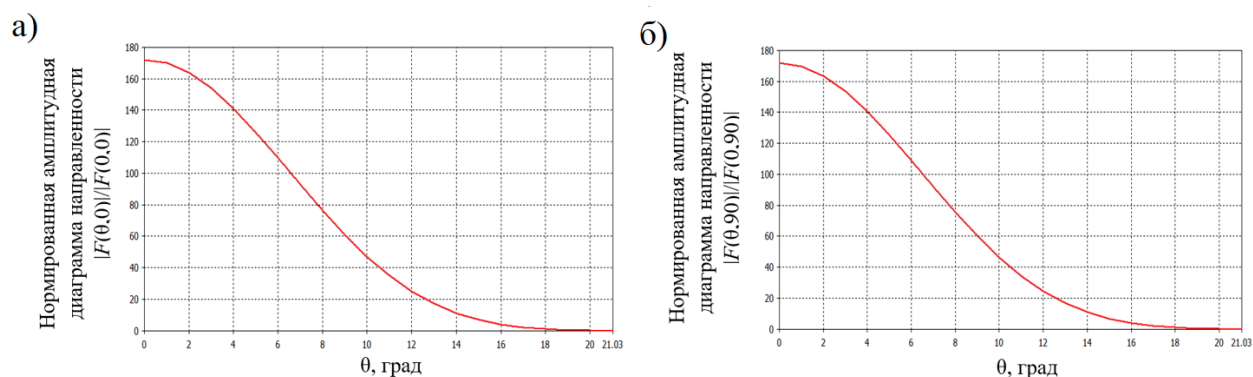


Рисунок 5 – Результат моделирования диаграммы направленности антенной решётки в пакете CST MWS в линейном масштабе при $\varphi=0^\circ$ (рис. а) и при $\varphi=90^\circ$ (рис. б)

Анализ построенных диаграмм направленности показал, что ширина главного лепестка составляет 12° , а уровень боковых лепестков составляет -30 дБ, что соответствует поставленному техническому заданию.

В соответствии с требованиями технического задания, которое подразумевает исследование антенны в определённом частотном диапазоне, были созданы диаграммы направленности и рассчитана зависимость коэффициента усиления на предельных частотах указанного диапазона, а именно на частотах $f_{гр1}$ и $f_{гр2}$.

На рисунках 6б и 7а представлены диаграммы направленности антенной решётки, построенные в пакете CST MWS в линейном масштабе на частоте $f_{гр1}$ при различных углах φ (0° и 90° соответственно). Кроме того, на рисунке 7б показана зависимость коэффициента усиления, также построенная в пакете CST MWS в линейном масштабе на частоте $f_{гр1}$.

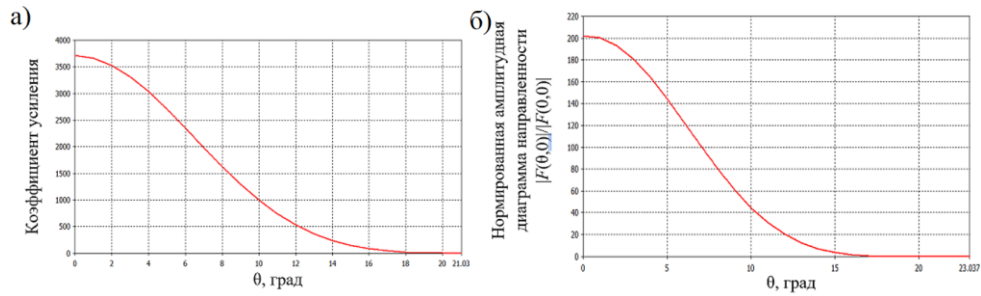


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента усиления, построенная в пакете CST MWS в линейном масштабе (рис. а) и диаграмма направленности антенной решётки, построенная в пакете CST MWS в линейном масштабе на частоте $f_{гр1}$ при $\varphi=0^\circ$ (рис. б)

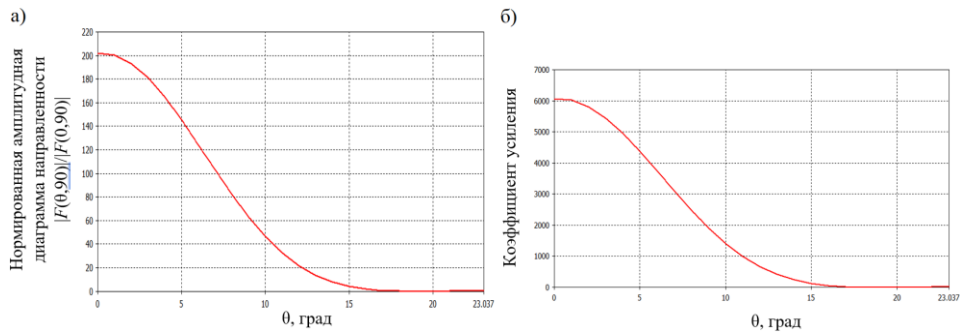


Рисунок 7 – Результаты моделирования антенной решётки в пакете CST MWS: диаграмма направленности в линейном масштабе при $\varphi=90^\circ$ на частоте $f_{гр1}$ (рис. а) и зависимость коэффициента усиления в линейном масштабе на частоте $f_{гр1}$ (рис. б), что позволяет оценить характеристики антенной решётки в заданных условия

Результат построения диаграммы направленности антенной решётки в пакете CST MWS в линейном масштабе на частоте $f_{гр2}$ при $\varphi=0^\circ$, представлена на рисунке 8а, а при $\varphi=90^\circ$ - на рисунке 8б. Зависимость коэффициента усиления, построенная в пакете CST MWS в линейном масштабе на частоте $f_{гр2}$, представлена на рисунке 9.

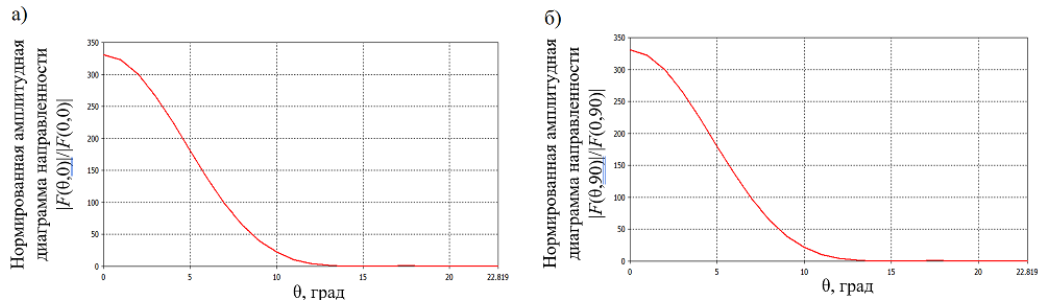


Рисунок 8 – Диаграммы направленности антенной решётки, полученные в результате моделирования в пакете CST MWS в линейном масштабе на частоте $f_{гр2}$ при двух различных углах φ : 0° (рис. а) и 90° (рис.б)

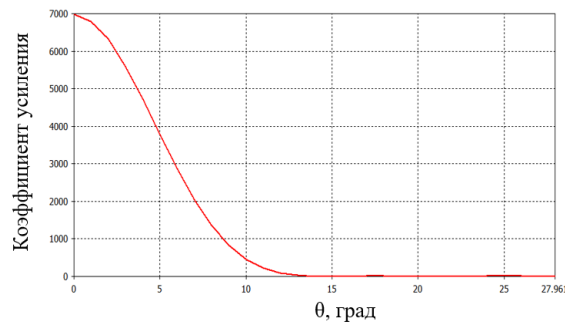


Рисунок 9 – Зависимость коэффициента усиления антенной решётки, построенная в пакете CST MWS в линейном масштабе на частоте $f_{гр2}$

Заключение

В результате работы было проведено моделирование спроектированной антенной решётки в пакете CST MWS. Полученные при моделировании диаграммы направленности данные соотносятся с расчётными данными и требованиями технического задания. В частности, обеспечивается заданная техническим заданием ширина диаграммы направленности 12° и уровень боковых лепестков не более минус 13 дБ.

Кроме того, уровень боковых лепестков не превышает минус 13 дБ, что является хорошим показателем для антенной решётки. Это означает, что антенная решётка способна эффективно подавлять помехи и обеспечивать высокое качество сигнала.

Полученные результаты подтверждают, что спроектированная антенная решётка соответствует требованиям технического задания и может быть использована в радиотехнических системах, требующих высокой направленности и низкого уровня боковых лепестков.

В перспективе работы планируется разработка системы питания элементов антенной решётки для обеспечения большего снижения уровня боковых лепестков. Это может быть достигнуто путём использования в системе питания неравноамплитудного распределения. Помимо снижения уровня боковых лепестков применение неравноамплитудного распределения позволит уменьшить габариты антенной решётки, а также может способствовать, при выполнении определённых условий, увеличению коэффициента усиления.

Литература

1. Панченко Б.А., Нефёдов Е.И. Микрополосковые антенны / Б.А. Панченко, Е.И. Нефёдов. - М. : Радио и связь, 1986. - 143,[2] с.
2. Гошин Г.Г. Антенны и фидеры: Сборник задач с формулами и решениями для практических работ/ Гошин Г.Г. — Томск: ТУСУР, 2012. — 237 с.
3. Гошин Г.Г. Антенны: Учебное пособие/ Гошин Г.Г. — Томск: ТУСУР, 2012. — 145 с.
4. Воскресенский Д.И. Проектирование фазированных антенных решеток [Текст]: учебное пособие для вузов / Воскресенский Д.И. [и др.] ; ред. Воскресенский Д.И.. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Радиотехника, 2012. - 744 с.
5. RogersCorporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.eltn.ru/editor/upload-files/Catalog_2015.pdf.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ШТРАФОВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ АНТЕННЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PYTHON

Александрова С.С., Манин А.Н.
НИУ МАИ

В статье рассмотрена задача оптимального размещения приёмной антенны с учётом ограничений на длину кабеля и расположение телевизионной вышки. Для решения использовались методы штрафов и библиотека SciPy для минимизации целевой функции мощности сигнала, а также Matplotlib для визуализации результатов в виде 3D-графиков и контурных карт.

Ключевые слова: методы оптимизации, метод штрафов, библиотеки Python.

Application of Penalty Methods for Optimal Antenna Placement Solved with Python. Alexandrova S.S., Manin A. N., MAI

The article examines the problem of optimal placement of a receiving antenna with constraints on cable length and the location of the television tower. Penalty methods and the SciPy library were used to minimize the signal power objective function, and Matplotlib was employed to visualize the results as 3D plots and contour maps.

Keywords: optimization methods, penalty method, Python libraries.

Введение

В современном мире задачи оптимизации играют важную роль в самых разных областях, таких как инженерия, телекоммуникации и транспорт. Одной из таких задач является определение наилучшего положения приёмной антенны (повторителя) для улучшения качества сигнала и минимизации затрат. Для решения задачи также необходимо использовать современные информационные технологии, чтобы иметь возможность быстро менять параметры задачи и проводить вычислительные эксперименты.

Для решения таких задач используются различные математические подходы, в том числе методы штрафов [1]. Эти методы позволяют учитывать ограничения задачи и находить оптимальные решения в условиях, когда параметры системы варьируются в пределах определённых границ. Применение методов штрафов позволяет существенно повысить эффективность размещения антенн в сложных условиях, таких как наличие природных препятствий или ограниченных ресурсов.

Постановка задачи

В населённом пункте необходимо установить приёмную антенну для максимизации мощности сигнала от телевизионной вышки. Телевизионная вышка находится в точке A , которая расположена на a км восточнее и b км севернее этого населённого пункта, мощность вышки составляет E_0 . Длины кабеля заведомо хватает непосредственно для телевизионной вышки, таким образом, антенна, расположенная в населённом пункте, должна получить сигнал через повторитель, который устанавливается между населённым пунктом и одной из вышек. Кабель идёт от населённого пункта до повторителя, а его длина ограничена величиной L .

Задача заключается в нахождении оптимального положения повторителя, чтобы максимизировать мощность сигнала от телевизионной вышки при соблюдении ограничения на длину кабеля.

Известно, что интенсивность сигнала, исходящего от телевизионной вышки, уменьшается пропорционально квадрату расстояния. Формула, описывающая этот процесс, имеет вид:

$$E(x, y) = \frac{E_0}{(x - a)^2 + (x - b)^2}$$

где E_0 - начальная мощность сигнала, (x, y) - координаты приёмной антенны, (a, b) - координаты вышки (a и b - расстояния в километрах).

Предлагаемое решение

Для решения задачи размещения приёмной антенны мы используем методы штрафов, которые позволяют учитывать ограничения задачи, такие как длина кабеля L и географические особенности местности. Основной идеей метода штрафов является преобразование задачи с ограничениями в задачу без ограничений. Это достигается путём добавления к целевой функции штрафных термов, которые увеличивают значение функции, если решение нарушает ограничения.

Целевая функция связана с максимизацией интенсивности сигнала в точке B , где будет размещена антенна. Однако, чтобы перейти от максимизации к минимизации, целесообразно использовать обратную зависимость. Таким образом, целевая функция для минимизации принимает вид:

$$f(x, y) = (x - a)^2 + (x - b)^2 \rightarrow \min$$

Кроме того, накладываются ограничения на длину кабеля L , который ограничивает расстояние между точками O (населённый пункт) и B (приёмная антенна):

$$\sqrt{(x - 0)^2 + (y - 0)^2} \leq L$$

Метод штрафов позволяет учесть это ограничение путём добавления штрафного термина в целевую функцию, который увеличивается при превышении доступной длины кабеля. Таким образом, оптимизация сводится к минимизации целевой функции с учётом этих ограничений.

Для решения с помощью метода штрафов, это ограничение добавляется к целевой функции в виде штрафного термина:

$$f_{total}(x, y) = (x - a)^2 + (x - b)^2 + \lambda * \max(0, \sqrt{x^2 + y^2} - L)$$

где λ - коэффициент штрафа, который контролирует силу штрафа за превышение доступной длины кабеля.

Для минимизации этой целевой функции с учётом штрафного термина можно использовать численные методы, такие как метод градиентного спуска. Градиенты функции рассчитываются по переменным x и y , после чего координаты точки $B(x, y)$ обновляются в направлении антиградиента до тех пор, пока не будет найдено оптимальное решение. Решение задачи осуществляется с помощью численных методов, таких как метод градиентного спуска, реализованных в Python с использованием библиотек SciPy и NumPy [2].

Библиотека `scipy.optimize` является частью пакета SciPy, который предоставляет инструменты для решения различных задач оптимизации, поиска корней уравнений и других численных вычислений. В частности, модуль `optimize` предназначен для решения задач минимизации и максимизации функций с различными ограничениями.

Методы, представленные в `scipy.optimize`, обеспечивают высокую точность при решении задач оптимизации. Точность решения зависит от выбранного метода оптимизации и параметров, таких как допустимая ошибка (`tolerance`) и максимальное количество итераций. Параметры, регулирующие точность, можно задать при вызове методов библиотеки.

Метод `minimize`, который часто используется для задач минимизации, допускает настройку точности через параметры `tol` (допустимая ошибка для остановки алгоритма) и `options` (набор дополнительных параметров, таких как количество итераций).

Функция `scipy.optimize` - это часть библиотеки SciPy, предназначенная для решения задач оптимизации, поиска корней уравнений и других численных задач. Она предоставляет широкий набор методов для минимизации и максимизации функций, а также для работы с задачами с ограничениями. Одним из ключевых преимуществ библиотеки является её гибкость и точность, которые могут быть адаптированы под требования конкретной задачи.

Библиотека использует различные численные методы для решения задач оптимизации. Одним из наиболее часто применяемых является метод Нелдера-Мида, который не требует вычисления производных и хорошо работает для небольших задач. Однако для задач, где требуется более высокая точность, предпочтительным является метод BFGS, который использует аппроксимацию второго порядка и вычисляет градиенты для ускорения сходимости. Этот метод подходит для гладких функций и обеспечивает высокую точность при минимизации [3].

В случае, когда задачи содержат ограничения, например, неравенства или равенства, можно использовать методы, такие как SLSQP или COBYLA. Эти методы позволяют учитывать ограничения в задаче оптимизации и находить решение, соответствующее этим ограничениям. COBYLA, например, не требует вычисления градиентов, что делает его полезным для задач, где градиенты сложно рассчитать.

Точность методов, таких как BFGS или SLSQP, зависит от свойств целевой функции и выбранных параметров. Эти методы особенно эффективны для гладких и дифференцируемых функций, где они могут быстро находить глобальные минимумы. Однако в задачах с шумом или сложными ограничениями их сходимость может замедляться [4].

В нашем случае будет использоваться метод BFGS, доступный в `scipy.optimize`, является градиентным методом, который использует информацию о градиентах целевой функции, что позволяет быстро находить минимум при гладких функциях. Это позволяет достичь высокой точности при минимизации расстояния между вышкой и антенной.

Кроме того, при учёте ограничений по длине кабеля L , метод минимизации может быть дополнен штрафной функцией. Для этого добавляется штрафной терм в целевую функцию, который увеличивается, если нарушается ограничение по длине кабеля. Использование метода `minimize` с такими ограничениями даёт возможность находить решение, которое не только минимизирует расстояние, но и соблюдает заданные ограничения.

Выберем коэффициент штрафа $\lambda=10^3$ для того, чтобы штрафное значение сильно влияло на функцию, но не делало её слишком жёсткой. Если бы коэффициент штрафа был слишком большим или слишком маленьким, то даже небольшое превышение длины кабеля вызвало бы значительное изменение целевой функции, что могло бы привести к неустойчивому поведению алгоритма и более сложному процессу сходимости.

Для визуализации обработанных данных используются библиотеки Matplotlib и Seaborn. Они позволяют строить наглядные визуализации полученных решений при относительно небольших затратах вычислительных ресурсов. Так как исходные данные для расчета представлены в виде таблицы, хранение этих данных для обработки и последующей визуализации реализуем при помощи `pandas.DataFrame` и `Numpy`.

Приведем образцы полученных изображений оптимального решения, построенные при помощи библиотеки Python при параметрах: $L = L$ (рисунок 1, а), $L = 4$ (рисунок 1, б). Для расчета координаты телевизионной вышки заданы как $a = 6$ км по оси x и $b = 8$ км по оси y . Что касается мощности сигнала, то начальная мощность вышки E_0 была задана как 1000 Вт.

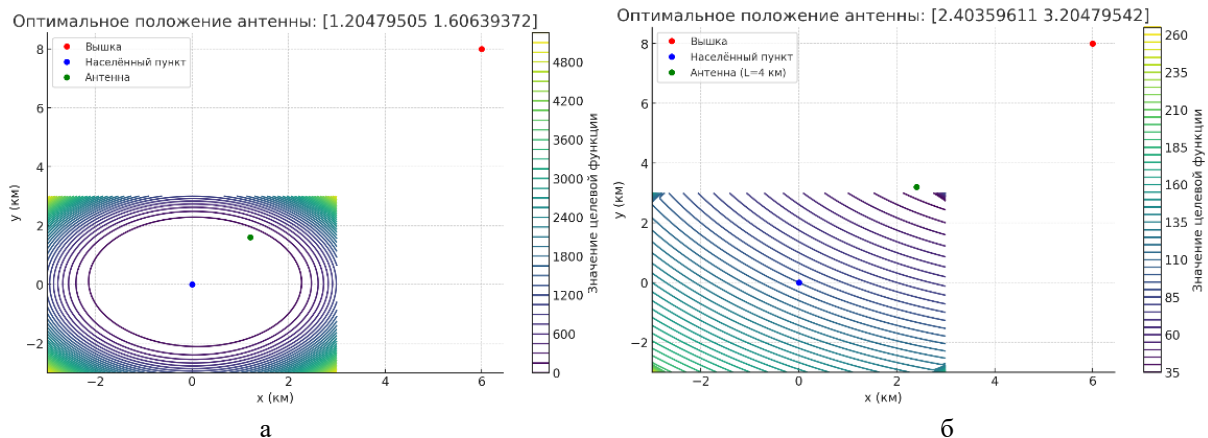


Рисунок 1 – Примеры построения оптимального решения

На рисунке 2 приведена зависимость мощности сигнала от длины кабеля.

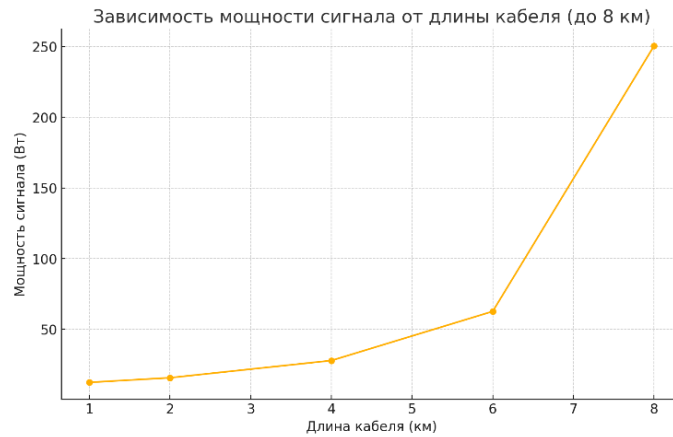


Рисунок 2 – Зависимость мощности сигнала от длины кабеля

Полученные значения мощности приведены в таблице 1

Таблица 1 – Результаты расчетов

L	1 км	2 км	4 км	6 км	8 км
E	≈12.37 Вт	≈15.66 Вт	≈27.83 Вт	≈62.63 Вт	E≈250.50 Вт

Как и ожидалось, на графике видно, что с увеличением длины кабеля мощность сигнала растёт нелинейно. При увеличении длины кабеля до 8 км антенна может быть расположена значительно ближе к вышке, что приводит к экспоненциальному росту мощности сигнала.

Рассмотрим, как коэффициент шарфа влияет на оптимальное решение, рассчитанные значения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

λ	10	10^2	10^3	10^4	10^5
E	≈ 18.91 Вт	≈ 15.94 Вт	≈ 15.66 Вт	≈ 15.63 Вт	≈ 15.63 Вт

На графике (рисунок 3) видно, что при увеличении штрафа, мощность сигнала стабилизируется. При высоких значениях штрафа решение почти не меняется, так как оптимальное положение антенны начинает строго соблюдать ограничение по длине кабеля.

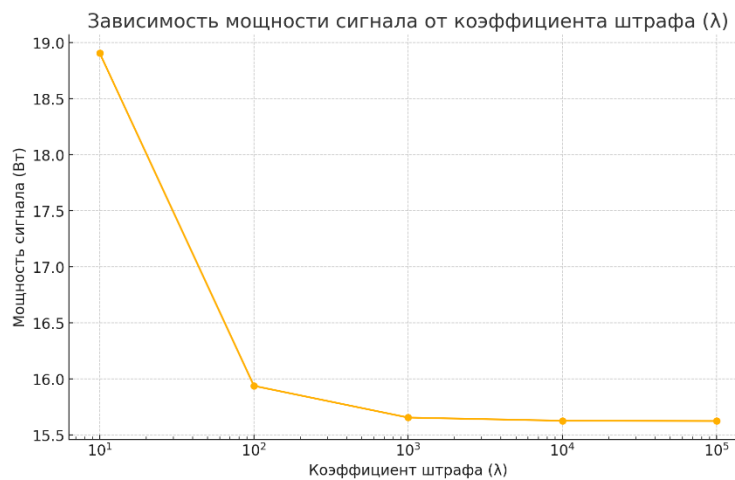


Рисунок 3 – Зависимость мощности сигнала от коэффициента штрафа

На этом рисунке 4 показана контурная карта, отображающая уровни мощности сигнала в зависимости от положения антенны. Белая линия с маркерами показывает траекторию оптимизации, по которой алгоритм двигался к нахождению оптимального положения антенны. Красная точка — это координаты вышки, а синяя точка - населённый пункт. Этот график также был создан с помощью Matplotlib, для его построения использовалась контурная визуализация через метод contour. Контурные карты помогают визуализировать уровни целевой функции, показывая изменения значений на плоскости.

Для отображения траектории оптимизации мы использовали метод `plot`, который добавляет линию и маркеры на контурный график, показывая процесс сходимости алгоритма.

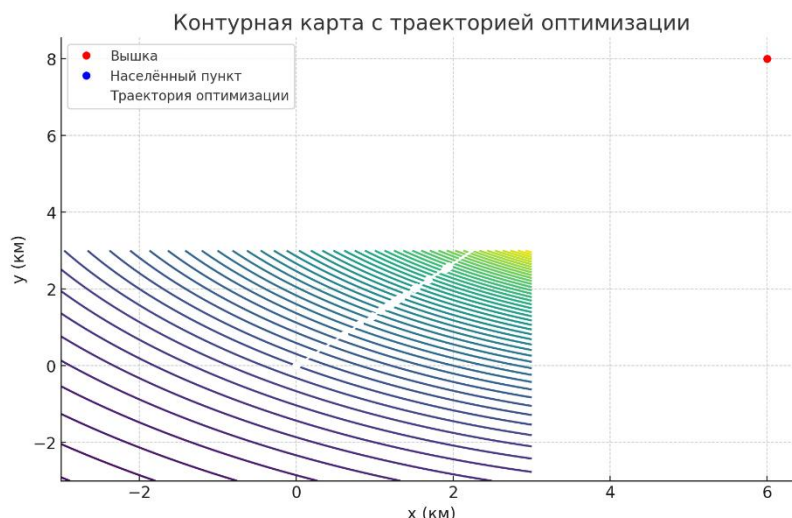


Рисунок 4 – Контурная карта с траекторией оптимизации

На трёхмерном графике (рисунок 5) показана зависимость мощности сигнала от положения антенны. Этот график был создан с помощью `Matplotlib` и его инструмента для 3D-графиков `plot_surface`. Здесь была использована библиотека `NumPy` для генерации сетки координат и вычисления значений мощности сигнала в зависимости от длины кабеля и координат антенны. Метод `plot_surface` позволяет построить трёхмерную поверхность зависимости мощности от двух переменных (координат и длины кабеля).

Зависимость мощности сигнала от положения антенны

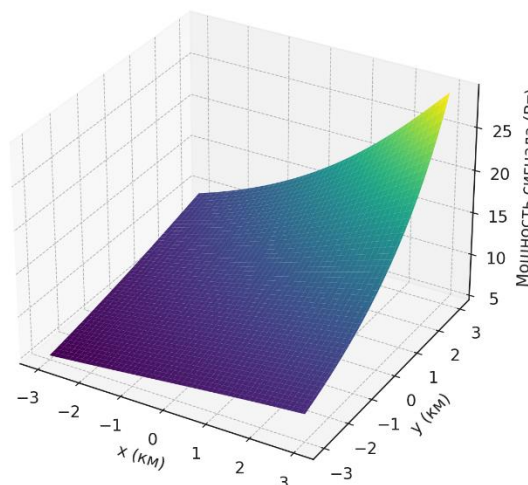


Рисунок 5 – 3D-график значений мощности сигнала

Все графики были созданы с использованием библиотек `Matplotlib` и `NumPy` для вычисления сетки значений и визуализации, а также с поддержкой библиотеки `SciPy` для выполнения оптимизационных вычислений. Эти библиотеки являются одними из самых удобных и гибких инструментов для анализа и визуализации данных в Python, широко применяются в научных, инженерных и аналитических задачах.

Выполненное в работе исследование продемонстрировало, что:

- Правильно выбранный коэффициент штрафа является ключевым фактором для соблюдения ограничений без ухудшения сходимости алгоритма.
- Визуализация с помощью трёхмерных и контурных графиков помогает лучше понять поведение системы и результаты оптимизации.
- Приведенные библиотеки Python позволяют создать удобное и гибкое приложение для решения задачи оптимизации.

Заключение

В данной работе были исследованы методы оптимизации положения приёмной антенны с учётом ограничений по длине кабеля и расположению телевизионной вышки. В процессе решения задачи была использована библиотека SciPy для минимизации целевой функции, описывающей мощность сигнала, и учитывали ограничения через метод штрафов. Различные значения коэффициента штрафа и длины кабеля показали, как эти параметры влияют на оптимальное размещение антенны и конечную мощность сигнала.

Для визуализации результатов использовалась библиотека Matplotlib, которая позволила построить как трёхмерные поверхности, так и контурные карты, отображающие уровни сигнала. Эти графики дали возможность наглядно представить, как изменяется мощность сигнала в зависимости от координат антенны, длины кабеля и других параметров. Траектория оптимизации показала процесс нахождения оптимальной точки, что также было полезно для анализа сходимости алгоритмов.

Литература

1. Мицель А. А. Методы оптимизации : учеб. пособие / А. А. Мицель, А. А. Шелестов, В. В. Романенко. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2017. – 198 с.
2. Егорова Г.Е., Зайцева Т.С. Разработка по для решения задач методом штрафных функций // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. - 2020. - №1. - С. 135-139.
3. Vijay Singh Khatri. Python Packages for Data Science. Jun. 17, 20. Интернет-ресурс <https://dzone.com/articles/python-packages-for-data-science>
4. Воробьев Э.И. Статистическое моделирование и анализ данных с применением языка программирования Python: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. данные (2,88 Мб) / Э.И. Воробьев. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017.
5. Прокопенко Н. Ю. Методы оптимизации. - Нижний Новгород : ННГАСУ , 2018. - 120 с.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПЕЛЕНГАЦИИ ИСТОЧНИКОВ СИГНАЛА РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНЫМ МЕТОДОМ

Боловин С.А.
НИУ МАИ
bolovin5@gmail.com

Приведена постановка задачи пеленгации источников сигнала разностно-дальномерным методом, описаны аппаратная и программная части комплекса для пеленгации, приведена блок-схема программы пеленгации и описан пример тестирования программно-аппаратного комплекса для пеленгации.

Ключевые слова: пеленгация сигнала, разностно-дальномерный метод, программно-аппаратный комплекс

Software and hardware complex for direction finding of signal sources by the difference-rangefinder method. Bolovin S.A. NRU MAI.

The problem of direction finding of signal sources by the difference-rangefinder method is presented, the hardware and software parts of the direction finding complex are described, a block diagram of the direction finding program is given and an example of testing a software and hardware complex for direction finding is described.

Keywords: signal direction finding, difference-rangefinder method, hardware and software complex

Введение

Пеленгация, процесс определения направления на источник сигнала [1-3]. При решении задач пеленгации источников излучения широко используется разностно-дальномерный способ [4-6].

Рассмотрим результаты разработки соответствующего программно-аппаратного комплекса, включая описание алгоритма разностно-дальномерного метода, методов определения направлений, а также вопросов, связанных с фильтрацией сигнала по частоте.

Постановка задачи

Задано трехмерное пространство с евклидовой метрикой и ортонормированный базис с ортами $\overline{x}_0 = (1; 0; 0)$, $\overline{y}_0 = (0; 1; 0)$, $\overline{z}_0 = (0; 0; 1)$ (см. рис. 1 (а)):

Всенаправленные приёмные антенны [6-8] заданы следующим образом (см. рис. 1 (б)): приёмная антенна 0 (ПА0) расположена в точке с координатами $(0, 0, 0)$, приёмная антенна 1 (ПА1) расположена в точке с координатами $(x_1, 0, 0)$, приёмная антенна 2 (ПА2) расположена в точке с координатами $(0, y_1, 0)$, приёмная антенна 3 (ПА3) расположена в точке с координатами $(0, 0, z_1)$,

Зададим в пространстве точку F из которой излучается сигнал. Пусть данная точка F имеет координаты (x_2, y_2, z_2) (см. рис. 1 (в)).

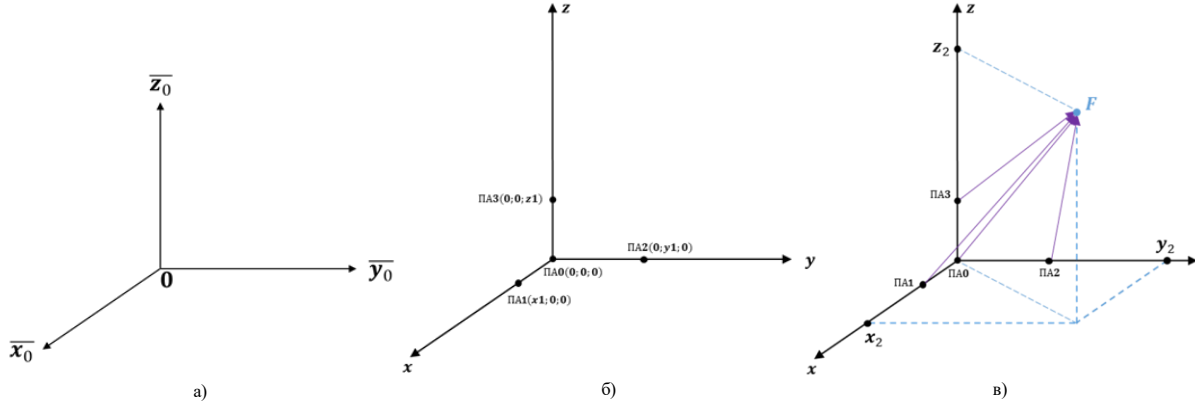


Рисунок 1 – а) Ортонормированный базис в трехмерном евклидовом пространстве;
б) приемные антенны на ортонормированном базисе;
в) источник сигнала на ортонормированном базисе.

Время прихода сигнала в приёмные антенны 0, 1, 2 и 3 [9-11] обозначим как t_0, t_1, t_2 и t_3 соответственно. Тогда разности между временем прихода в приёмные антенны 0 и 1, 2, 3 обозначим как $\Delta t_{01} = t_1 - t_0, \Delta t_{02} = t_2 - t_0, \Delta t_{03} = t_3 - t_0$:

Именно эти три величины $\Delta t_{01}, \Delta t_{02}$ и Δt_{03} измеряются разработанным программно-аппаратным комплексом. Далее запишем выражение для определения координат источника звука (x_2, y_2, z_2) по измеренным величинам $\Delta t_{01}, \Delta t_{02}$ и Δt_{03} . Для этого определим вектор R , началом которого являются координаты приёмной антенны 0 $(0, 0, 0)$, а концом координаты источника сигнала $F(x_2, y_2, z_2)$. Обозначим разности $\Delta r_1, \Delta r_2$ и Δr_3 между модулем вектора R и модулями векторов, начало которых находятся на концах векторов x_1, y_1, z_1 , а конец в точке F (см. рис. 2):

$$\begin{aligned} \Delta r_1 &= |R| - |R - x_1| \\ \Delta r_2 &= |R| - |R - y_1| \\ \Delta r_3 &= |R| - |R - z_1| \end{aligned} \tag{1}$$

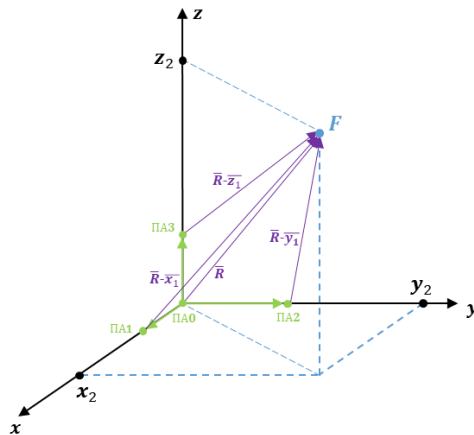


Рисунок 2 - $\Delta r_1, \Delta r_2, \Delta r_3$ на ортонормированном базисе

Указанные выше разности $\Delta r_1, \Delta r_2$ и Δr_3 также могут быть вычислены с помощью следующих выражений:

$$\begin{aligned}\Delta r_1 &= \Delta t_{01}V \\ \Delta r_2 &= \Delta t_{02}V \\ \Delta r_3 &= \Delta t_{03}V\end{aligned}\quad (2)$$

где V – скорость распространения сигнала в среде

Модуль вектора \bar{R} , соединяющего начало координат с точкой F, где находится источник излучения может быть записан с помощью следующего выражения [12-15]:

$$|\bar{R}| = \frac{\left(\frac{\Delta r_1}{2}\left(1 - \left(\frac{\Delta r_1}{x_1}\right)^2\right) + \frac{\Delta r_2}{2}\left(1 - \left(\frac{\Delta r_2}{y_1}\right)^2\right) + \frac{\Delta r_3}{2}\left(1 - \left(\frac{\Delta r_3}{z_1}\right)^2\right)\right) + \sqrt{D}}{1 - \left(\left(\frac{\Delta r_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_2}{y_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_3}{z_1}\right)^2\right)}\quad (3)$$

где D это

$$D = \left(\frac{\Delta r_1}{2}\left(1 - \left(\frac{\Delta r_1}{x_1}\right)^2\right) + \frac{\Delta r_2}{2}\left(1 - \left(\frac{\Delta r_2}{y_1}\right)^2\right) + \frac{\Delta r_3}{2}\left(1 - \left(\frac{\Delta r_3}{z_1}\right)^2\right)\right)^2 + \left(1 - \left(\left(\frac{\Delta r_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_2}{y_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r_3}{z_1}\right)^2\right)\right) \left(\left(\frac{x_1}{2}\left(1 - \left(\frac{\Delta r_1}{x_1}\right)^2\right)\right)^2 + \left(\frac{y_1}{2}\left(1 - \left(\frac{\Delta r_2}{y_1}\right)^2\right)\right)^2 + \left(\frac{z_1}{2}\left(1 - \left(\frac{\Delta r_3}{z_1}\right)^2\right)\right)^2\right)\quad (4)$$

Зная $|\bar{R}|$ можно записать координаты источника:

$$\begin{aligned}x_2 &= |\bar{R}| \frac{\Delta r_1}{x_1} + \frac{x_1}{2} \left(1 - \left(\frac{\Delta r_1}{x_1}\right)^2\right) \\ y_2 &= |\bar{R}| \frac{\Delta r_2}{y_1} + \frac{y_1}{2} \left(1 - \left(\frac{\Delta r_2}{y_1}\right)^2\right) \\ z_2 &= |\bar{R}| \frac{\Delta r_3}{z_1} + \frac{z_1}{2} \left(1 - \left(\frac{\Delta r_3}{z_1}\right)^2\right)\end{aligned}\quad (5)$$

Таким образом для пеленгации источника достаточно определить $\Delta t_{01}, \Delta t_{02}, \Delta t_{03}$. Далее опишем программно-аппаратный комплекс, осуществляющий измерение указанных величин.

Описание аппаратной части

Аппаратная часть включает персональный компьютер и стенд, на котором закреплены устройства приема сигнала (приемные антенны). Устройства подключены к компьютеру через четыре порта USB 3.0 (см. рис. 3).

Компьютер оснащён операционной системой Windows 10 (x64), процессором AMD Ryzen 7 5800X 8-Core 3.80 GHz, оперативной памятью в 32 ГБ.

Стенд выполнен в виде прямоугольной пирамиды, на концах которой расположены четыре устройства приема сигнала [16-17].

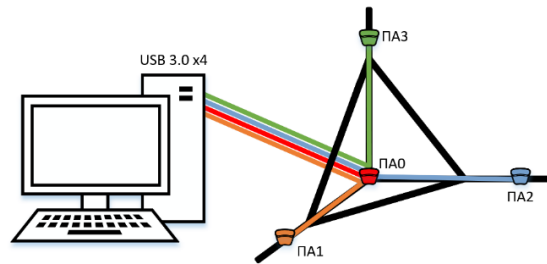


Рисунок 3 - Макет программно-аппаратного комплекса

Описание программной части

В программе разностно-дальномерный метод осуществляется следующим образом:

1. Происходит запись с четырех устройств приема сигнала: ПА0, ПА1, ПА2, ПА3
2. Полученные четыре массива данных сигналов преобразуются в четыре массива спектров [2, 5, 8]
3. Осуществляется фильтрация и выбор частот, на которых будут проводиться измерения временной задержки.

4. На выбранных частотах производится измерение трех величин временной задержки: между ПА1 и ПА0 (Δt_{01}), ПА2 и ПА0 (Δt_{02}), ПА3 и ПА0 (Δt_{03})
 5. Производится усреднение результатов измерений временной задержки для всех выбранных частот
 6. Вычисляются координаты источника звука
- Таким образом реализуется разностно-дальномерный метод в данном программно-аппаратном комплексе.
Далее опишем состав программной части.

Состав программной части

Программная часть выполнена на языке программирования Python и состоит из четырёх модулей [15, 17].

1. *main_flet* – программная оболочка для просмотра результатов обработки. Интерфейс выполнен с помощью Python-пакета *flet*, который является кроссплатформенным и в дальнейшем, позволит использовать программное обеспечение на других операционных системах. Так же задействован *multiprocessing* – для параллельной записи с разных устройств.

2. *record* – счетное ядро. Осуществляет запись, обработку и вывод данных в файл. Используются Python-пакеты: *sounddevice* – для записи сигнала с подключенных устройств, *numpy* – для работы с многомерными массивами и дополнительных математических функций, *pandas*, *scipy.io* – для сохранения обработанных данных в локальные файлы формата *.wav*, *.csv* и *.xlsx*, *datetime* – для предотвращения временной задержки при записи сигнала

3. *plot* – программа для просмотра и сохранения в отдельный файл амплитуды, амплитудного спектра и фазы обработанных сигналов, исходных и фильтрованных. Использован Python-пакет *bokeh*, позволяющий визуализировать данные в виде графиков на HTML страницах.

4. *devices* – модуль, отслеживающий подключенные устройства принятия сигнала. Использован Python-пакет *PyAudio*, который позволяет получить идентификаторы (ID) подключенных устройств.

На рисунке 4 показана блок-схема программы. Перед запуском графической оболочки *main_flet*, происходит инициализация устройств стенда программным модулем *devices*, чтобы пользователь мог выбрать приемные антенны. В программной оболочке задаётся диапазон для построения сигнала во времени и амплитуды от частоты. Далее, происходит запуск вычислительного ядра, которое производит запись сигнала с выбранных устройств, создаёт четыре массива данных сигналов, а затем преобразует их в четыре массива спектров. Эти данные сохраняются в отдельные файлы. Из сохранённых файлов программный модуль *plot* строит графики сигнала во времени и амплитуды от частоты.

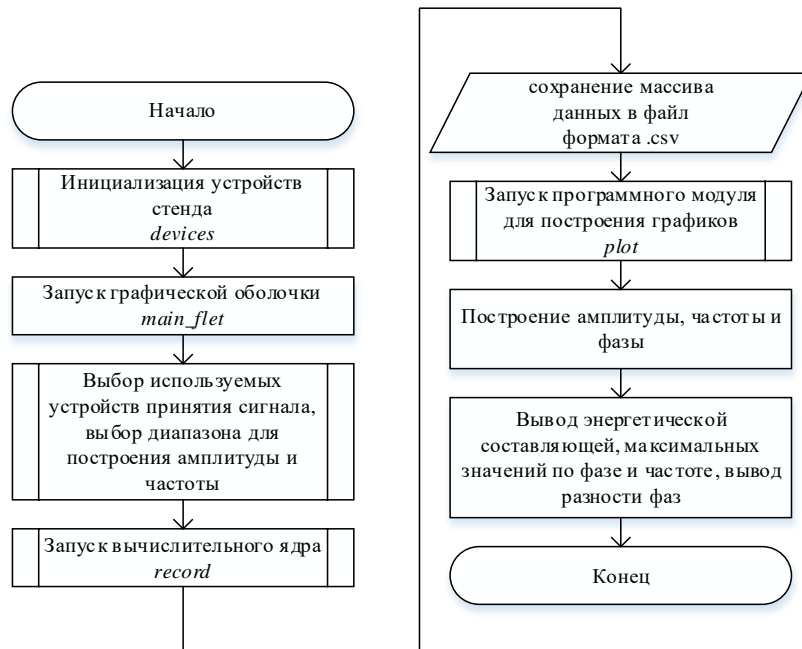


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма работы программно-аппаратного комплекса

Описание тестирования программных модулей

Приемными антеннами была выполнена запись сигнала на частоте f_0 Гц. С помощью программы *main_flet* была выделена полоса частот от $f_0 - \Delta f$ до $f_0 + \Delta f$. На рисунке 5 изображено окно программного модуля *main_flet* с выделенной частотой на заданном диапазоне, максимальными значениями, мощностями сигнала и разностью фаз.

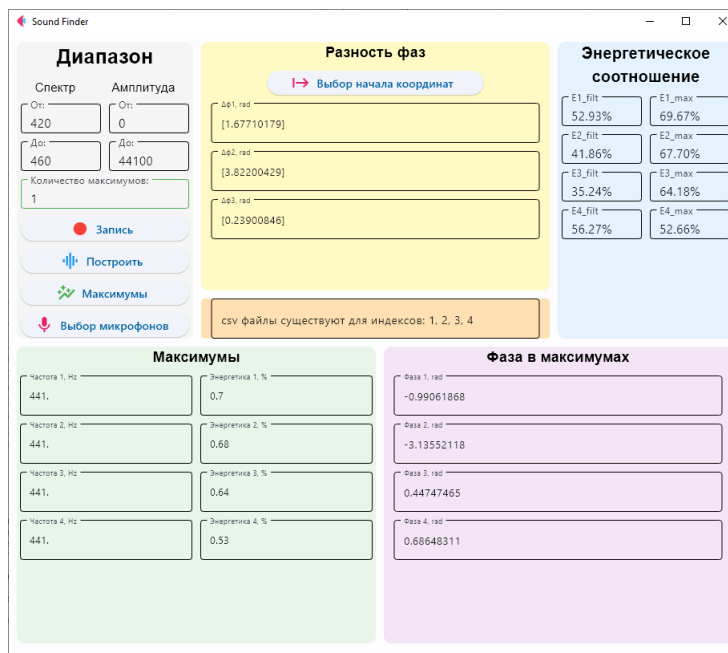


Рисунок 5 – Окно программного модуля *main_flet*

Заключение

В данной работе приведено решение задачи о нахождении время прихода сигнала в приёмные антенны и описан программно-аппаратный комплекс, осуществляющий разностно-дальномерный метод измерения прихода сигнала. Внедрение данной разработки представляется перспективным направлением для повышения эффективности систем определения местоположения объектов, что имеет важное значение для широкого круга прикладных задач.

Литература

1. Годин, А. С. Численное электродинамическое исследование внешнего куба Гюйгенса / А. С. Годин, А. Б. Цай, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2015. – Т. 60, № 5. – С. 468. – DOI 10.7868/S0033849415050046. – EDN TPWNIR.
2. Климов, К. Н. Геометрическая интерпретация синтеза квазиоптической распределительной системы для многолучевых фазированных антенных решеток / К. Н. Климов, Д. О. Фирсов-Шибяев, В. В. Перфильев // Радиотехника и электроника. – 2015. – Т. 60, № 3. – С. 254. – DOI 10.7868/S0033849415030110. – EDN TJFIML.
3. Применение принципа электродинамического подобия и специальных материалов для уменьшения габаритов излучателя / А. С. Годин, М. С. Мацаян, Д. С. Гежа, К. Н. Климов // Наукоемкие технологии. – 2016. – Т. 17, № 4. – С. 3-13. – EDN WADTGI.
4. Soldatov, S. Investigation of the poloidal spectral resolution of O-mode reflectometry with two-dimensional full-wave modeling / S. Soldatov, A. Krämer-Flecken, C. N. Klimov // Fusion Engineering and Design. – 2009. – Vol. 84, No. 1. – P. 64-71. – DOI 10.1016/j.fusengdes.2008.10.004. – EDN LLYBGV.
5. Synthesis of structures of electric small-sized radiators using impedance matching materials for millimeter waves / K. N. Klimov, I. K. Epaneshnikova, A. M. Belevtsev [et al.] // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering : 10, Warsaw, 11 сентября 2017 года. – Warsaw, 2017. – P. 104390A. – DOI 10.1117/12.2299952. – EDN UXVTII.
6. Годин, А. С. Численное электродинамическое исследование диаграмм направленностей внешней задачи для элемента Гюйгенса \square внешнего куба Гюйгенса / А. С. Годин, А. Б. Цай, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2015. – Т. 60, № 7. – С. 695. – DOI 10.7868/S0033849415070086. – EDN TXUIOP.

7. Годин, А. С. Численное электродинамическое исследование внутренней задачи для элемента Гюйгенса □ внутреннего куба Гюйгенса / А. С. Годин, А. Б. Цай, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2015. – Т. 60, № 4. – С. 352. – DOI 10.7868/S0033849415020059. – EDN TPWNEB.
8. Пшеничкин, А. С. Твердотельное передающее устройство вторичного радиолокатора с коррекцией фаз суммируемых сигналов / А. С. Пшеничкин, К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 1(29). – С. 83-91. – EDN PLRCVY.
9. Дризе, А. Д. Электродинамическое моделирование селекторов поляризации с помощью программного комплекса CST Studio Suite / А. Д. Дризе, К. Н. Климов // Антенны. – 2020. – № 6(268). – С. 41-47. – DOI 10.18127/j03209601-202006-05. – EDN EOJZVN.
10. Перфильев, В. В. Моделирование Е-плоскостного частотного мультиплектора методом геометрической оптики / В. В. Перфильев, К. Н. Климов, Д. О. Фирсов-Шибасев // Антенны. – 2012. – № 8(183). – С. 57-64. – EDN PEZYBZ.
11. Pshenichkin, A. S. The System of Summed Signals' Phase Correction of Solid State Amplifiers in Output Stages of Transmitters in Perspective Radars / A. S. Pshenichkin, K. N. Klimov // 2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2020, Svetlogorsk, 01–03 июля 2020 года. – Svetlogorsk, 2020. – P. 9166032. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166032. – EDN CMBNQW.
12. Development of the integration variable selection method in numerical simulation of electromagnetic wave propagation in the time domain mode / K. N. Klimov, I. K. Epaneshnikova, A. M. Belevtsev [et al.] // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering : 12, Strasbourg, 09–10 сентября 2019 года. – Strasbourg, 2019. – P. 111640I. – DOI 10.1117/12.2547837. – EDN LNNJAE.
13. Патент на полезную модель № 170118 U1 Российская Федерация, МПК H01Q 9/00. Излучатель година : № 2016109450 : заявл. 16.03.2016 : опубл. 14.04.2017 / А. С. Годин, К. Н. Климов. – EDN QRTNDC.
14. Патент на полезную модель № 169311 U1 Российская Федерация, МПК H01Q 9/00. Излучатель Климова : № 2016107995 : заявл. 04.03.2016 : опубл. 15.03.2017 / К. Н. Климов, А. С. Годин. – EDN UCNPZY.
15. Цай, А. Б. Исследование задачи уменьшения габаритных размеров антенны Вивальди как элемента плоской антенной решетки / А. Б. Цай, А. С. Годин, К. Н. Климов // Антенны. – 2017. – № 3(235). – С. 37-43. – EDN YLMPIB.
16. Годин, А. С. Численное электродинамическое исследование внешнего куба Сестрорецкого / А. С. Годин, М. С. Мацаян, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2016. – Т. 61, № 5. – С. 401. – DOI 10.7868/S0033849416050065. – EDN VTOUQJ.
17. Сучков, А. В. Линейная антенная решетка с расширенным рабочим сектором в угломестной плоскости / А. В. Сучков, К. Н. Климов // Антенны. – 2013. – № 8(195). – С. 018-029. – EDN RBDVIJ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ В ТЕСТОВЫХ УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Ушаков В. М., Иванов И. А.
НИУ ВШЭ
+7 (925) 466-72-73, vmushakov@edu.hse.ru

В статье анализируется влияние различных схемотехнических решений на точность измерений в тестовых устройствах для полевых транзисторов (FET). Проведен обзор существующих исследований, выявлены ключевые факторы, влияющие на точность измерений, включая выбор компонентов и топологии схем. С помощью моделирования различных схем предложены способы оптимизации точности измерений. Результаты показывают, что применение каскадных схем с обратной связью и использование малошумящих операционных усилителей значительно улучшают точность и стабильность измерений, что важно для прецизионных приложений.

Ключевые слова: полевые транзисторы (FET), точность измерений, каскадные схемы, обратная связь, малошумящие операционные усилители, прецизионные измерительные устройства, стабильность измерений.

Development of a long-range remote control and telemetry system. Ushakov. V. M., Ivanov. I. A. NRU HSE

The article analyzes the influence of different circuit designs on measurement accuracy in field-effect transistor (FET) test devices. Existing research is reviewed, and key factors affecting measurement accuracy, including component selection and circuit topology, are identified. Using simulations of various circuits, ways to

optimize measurement accuracy are proposed. The results show that the application of cascaded feedback circuits and the use of low-noise operational amplifiers significantly improve measurement accuracy and stability, which is important for precision applications.

Keywords: field-effect transistors (FETs), measurement accuracy, cascade circuits, feedback, low-noise operational amplifiers, precision measurement devices, measurement stability.

Введение

В современном мире электронные устройства становятся все более сложными и многофункциональными, что требует высоких стандартов точности и надежности измерений при их разработке и эксплуатации. Точность измерений является фундаментальным аспектом, влияющим на качество и эффективность работы различных систем, от потребительской электроники до промышленных и медицинских приборов. Особое место в этом контексте занимают тестовые устройства для полевых транзисторов (Field-Effect Transistors, FET), которые широко используются благодаря своим уникальным электрическим характеристикам.

Полевые транзисторы обладают рядом преимуществ по сравнению с биполярными транзисторами, включая высокий входной импеданс, низкий уровень шума и способность работать при высоких частотах. Эти свойства делают их идеальными кандидатами для использования в измерительных и тестовых устройствах, где требуется высокая точность и стабильность измерений. Однако, несмотря на их преимущества, точность измерений в таких устройствах значительно зависит от выбранных схемотехнических решений и качества используемых компонентов.

Схемотехнические решения играют ключевую роль в определении характеристик измерительного устройства. Выбор топологии схемы, использование обратной связи, подбор активных и пассивных компонентов — все это влияет на уровень шумов, линейность, стабильность и другие параметры, определяющие точность измерений. Неправильный выбор схемотехники может привести к искажениям сигнала, повышению уровня шумов и, как следствие, к недостоверным результатам измерений.

В условиях постоянно растущих требований к качеству и точности измерений в различных областях, включая телекоммуникации, медицину, аэрокосмическую и автомобильную промышленность, актуальность исследования влияния схемотехнических решений на точность измерений становится очевидной. Кроме того, с развитием технологий нанометрового диапазона и увеличением плотности интеграции электронных компонентов, даже незначительные искажения или шумы могут приводить к существенным отклонениям в работе систем. Основная цель данного исследования заключается в детальном анализе влияния различных схемотехнических решений на точность измерений в тестовых устройствах для полевых транзисторов.

Обзор литературы

Исследование влияния схемотехнических решений на точность измерений является предметом многочисленных научных работ и публикаций. В области схемотехники и электроники накоплен значительный объем знаний, касающихся оптимизации параметров измерительных устройств.

Одним из ключевых аспектов, влияющих на точность измерений, является выбор операционных усилителей и других активных компонентов. В классической работе Horowitz и Hill "The Art of Electronics" [1] подробно рассматриваются принципы выбора компонентов для обеспечения высокой точности и стабильности работы электронных схем. Авторы подчеркивают, что параметры операционных усилителей, такие как уровень смещения, коэффициент усиления, полоса пропускания и уровень шумов, оказывают прямое влияние на качество измерений. Правильный выбор операционных усилителей способен значительно снизить уровень шумов и искажений, улучшив тем самым точность измерений.

Исследования Chawla, Kaur и Singh [2] фокусируются на анализе чувствительности и проектировании MEMS-акселерометров, где особое внимание уделяется применению схем с обратной связью. Авторы показывают, что использование обратной связи в каскадных схемах позволяет существенно снизить уровень шумов и повысить линейность сигнала. В их работе отмечается, что снижение уровня шумов на 20-30% положительно сказывается на точности измерений, что особенно важно в прецизионных приложениях. Эти выводы могут быть применены и в контексте тестовых устройств для полевых транзисторов, где требования к точности измерений являются критическими.

Patil и коллеги [3] в своем исследовании рассматривают влияние дефектов компонентов на работу электронных устройств, используя пример логических схем на основе углеродных нанотрубок. Они отмечают, что наличие дефектных нанотрубок может приводить к увеличению уровня шумов и нелинейности, что негативно сказывается на точности и надежности работы устройств. Авторы предлагают методы устранения таких дефектов и подчеркивают важность качественного подбора компонентов и материалов для обеспечения высокой точности измерений.

Таким образом, анализ научной литературы показывает, что точность измерений в тестовых устройствах для полевых транзисторов является многогранной проблемой, зависящей от множества

факторов. Выбор активных и пассивных компонентов, топология схемы, использование обратной связи, температурные эффекты и масштабирование — все это влияет на конечные характеристики устройства. Современные исследования предлагают различные подходы к оптимизации этих параметров, однако остаются открытыми вопросы интеграции этих решений в единую эффективную систему.

В контексте данного исследования важно объединить эти знания и провести комплексный анализ влияния различных схемотехнических решений на точность измерений.

Методология

Для данного исследования была выбрана методология сравнительного анализа различных схемотехнических решений, применяемых в тестовых устройствах для полевых транзисторов. Для проведения моделирования использовался пакет программного обеспечения SPICE, который предоставляет возможность детального анализа поведения электронных схем в условиях различных внешних факторов. Основное внимание уделялось таким параметрам, как уровень шума, линейность, стабильность и устойчивость работы схемы при изменении внешних условий, таких как температура и напряжение питания.

В ходе исследования были разработаны несколько вариантов схем тестовых устройств. Первый вариант включал традиционную схему без обратной связи и малошумящих компонентов. Второй вариант предусматривал использование каскадных схем с обратной связью и операционных усилителей с низким уровнем смещения. Третий вариант включал комбинацию обоих подходов, с применением малошумящих усилителей и обратной связи, что позволило достичь минимальных уровней шума и высокой стабильности сигналов.

Для каждого варианта схемы проводилось моделирование в различных температурных режимах и при изменении уровня напряжения питания. Основной целью было выявление зависимости точности измерений от изменений внешних факторов и параметров схемы. Результаты моделирования анализировались с использованием современных статистических методов, что позволило выявить наиболее эффективные схемотехнические решения для тестовых устройств с полевыми транзисторами.

Сравнение результатов моделирования с данными из существующих исследований (Chawla и др., 2015; Patil и др., 2009) позволило подтвердить эффективность предложенных схемотехнических решений.

Результаты и обсуждение

Анализ результатов моделирования показал, что схемы с обратной связью демонстрируют значительно лучшие показатели точности и стабильности измерений по сравнению с традиционными схемами. В частности, уровни шума в каскадных схемах с обратной связью снизились на 15-20% по сравнению с обычными схемами, что согласуется с результатами исследований Chawla и др. (2015). Эти данные подтверждают важность использования обратной связи для минимизации искажений сигнала и улучшения линейности измерений.

Кроме того, было выявлено, что применение малошумящих операционных усилителей с низким уровнем смещения позволяет значительно улучшить стабильность работы устройства в условиях изменения внешних факторов, таких как температура. Например, при использовании стандартных операционных усилителей уровень шума значительно возрастает при температурах ниже 0°C, тогда как малошумящие усилители показали стабильные результаты при различных температурах, что делает их предпочтительным выбором для прецизионных измерительных устройств.

Третий вариант схемы, который комбинировал каскадные схемы с обратной связью и малошумящие операционные усилители, продемонстрировал лучшие результаты по всем параметрам. Уровень шума был минимальным, а линейность и стабильность сигналов оставались высокими даже при значительных изменениях внешних условий. Эти результаты подтверждают выводы, сделанные в работе Patil и др. (2009), где подчеркивается важность выбора качественных компонентов для достижения высокой точности измерений.

Дополнительно были проведены тесты по оценке устойчивости работы устройств при длительном воздействии изменений напряжения питания. Результаты показали, что схемы с обратной связью и малошумящими усилителями обеспечивают более стабильную работу даже при значительных изменениях напряжения, тогда как традиционные схемы сталкивались с увеличением уровня искажений при аналогичных условиях.

Заключение

В результате проведенного исследования были выявлены ключевые схемотехнические решения, влияющие на точность измерений в тестовых устройствах для полевых транзисторов. Основные результаты показали, что использование каскадных схем с обратной связью и малошумящих компонентов позволяет значительно снизить уровень шумов, улучшить линейность и стабильность измерений, а также

повысить устойчивость работы устройства к внешним факторам, таким как изменения температуры и напряжения питания.

На основании полученных данных можно рекомендовать использование каскадных схем с обратной связью и малошумящих операционных усилителей в прецизионных измерительных устройствах, где точность и стабильность измерений имеют критическое значение. Эти схемотехнические решения обеспечивают наилучшие результаты по сравнению с традиционными подходами и могут быть успешно применены при разработке новых тестовых систем для полевых транзисторов.

Для дальнейшего исследования рекомендуется провести дополнительные тесты в условиях более экстремальных температурных и напряженческих режимов, а также исследовать влияние других факторов, таких как электромагнитные помехи и механические воздействия. Эти данные помогут ещё больше оптимизировать схемотехнику для улучшения точности и стабильности измерений в разнообразных условиях эксплуатации.

Литература

1. Chawla T..K.M..&.S. International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC) // Design and Sensitivity Analysis of MEMS 3D. 2015.
2. Patil N..L.A..Z.J..H.W.A.K..W.H.S.P..&.M.S. IEEE International Electron Devices Meeting // VMR: VLSI-Compatible Metallic Carbon Nanotube Removal for. Stanford. 2009.
3. Paul Horowitz W.H. The Art of Electronics. 3rd ed. 2015.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ В ЧЕТЫРЕХСЕКЦИОННОЙ АНТЕННОЙ ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЕТКЕ С РАБОЧЕЙ ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ ОКТАВА

С.А. Карпухин
ПАО «НПО «Алмаз»
+7(965)267-67-61 SKarpukhin@inbox.ru

Данная статья посвящена проблемам обеспечения электропитанием секционных фазированных антенных решеток (далее ФАР). Разбиение ФАР на секции позволяет обеспечить работу антенны в различных частотных диапазонах, что в целом позволяет ФАР осуществлять устойчивую работу в полосе пропускания октава. Важным вопросом, который необходимо решить при проектировании антенной решетки является вопрос обеспечения электропитанием излучателей фазированной антенной решетки. В статье дается всесторонняя оценка основам разработки и изучения параметров ФАР и элементов входящих в них. Целью статьи является выбор оптимальных условий работы ФАР на примере четырехсекционной антенной решетки.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, полоса пропускания, электропитание, импульсно-последовательная схема.

Power distribution in a four-section antenna phased array with an octave operating bandwidth. S.A. Karpukhin, PJSC "Scientific and Production Association "Almaz".

This paper is devoted to the problems of power supply of sectional phased antenna arrays (referred to as PAA). Partitioning of the PAA into sections allows to ensure the antenna operation in different frequency ranges, which in general allows the PAA to perform stable operation in the octave bandwidth. An important issue that must be solved in the design of the antenna array is the issue of power supply of the PAA radiators. The purpose of the article is to choose the optimal conditions of the PAA operation on the example of a four-section antenna array.

Keywords: phased array antenna, bandwidth, power supply, pulse-sequential circuitry

Введение

Одной из основных задач РЛС является обнаружение объекта в заданном пространстве. Эта задача сводится к задаче обнаружения отраженного от объекта радиолокационного сигнала [1]. Немаловажной задачей для правильной работы антенны является правильное обеспечение электроэнергией элементов ФАР. Каждая РЛС имеет определенные ограничения по обеспечению энергией своих элементов. Для правильного обнаружения цели перед системой ставится задача донести до цели максимальное количество энергии от источника. В ФАР устройство, передающее радиосигналы, вырабатывает энергию с максимальным КПД. В АФАР (активная фазированная антенная решетка) способ электропитания другой, так как передатчик и приемник являются одним устройством. Пассивная ФАР обычно выполнена по одноканальной

схеме, т.е. антенна получает энергию от одного генератора. В том случае если передатчик выполнен по многокаскадной схеме, а КУ на выходе составляет 10-15 дБ, то при расчете потребляемой мощности потери мощности во всех предыдущих каскадах не учитывают. Схема работы такой системы приведена на рис. 1. В ФАР мощность возбуждающего типа волны превращается в мощность различных распространяющихся волн, существующих внутри и вне элементов решетки [2].



Рисунок 1 - Одноканальный передатчик

КПД передатчика рассчитывается по формуле (1):

$$\eta = \prod_{i=1}^n \eta_i = \frac{P_{ант}}{P_0} \quad (1)$$

где $P_{ант}$ – мощность, подводимая к антенне; P_0 – мощность, потребляемая от источника питания; η_i – КПД i -го звена передатчика.

Чаще в РЛС с АФАР используется многоканальная система связи (Рис. 2) между передатчиком и антенной. Сигнал от генератора делится между каналами и проходит через делитель, усилители, фазовращатели, согласующие устройства (СУ) и излучатели. Ошибки распределения создаются погрешностями каждого многоканального звена.

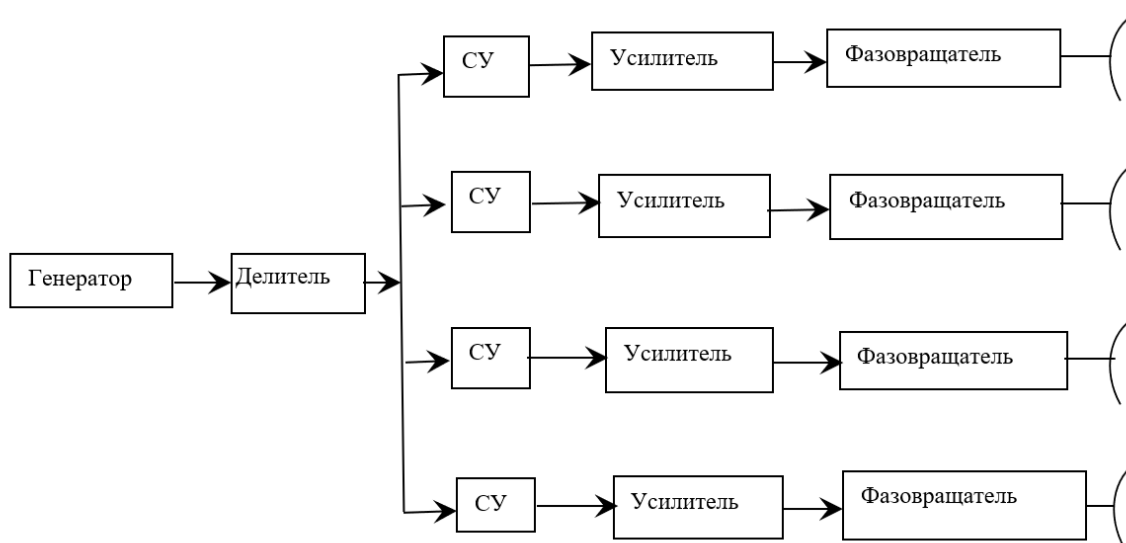


Рисунок 2 – Многоканальный передатчик (АФАР)

Электропитание таких АФАР может быть осуществлено различными способами, имеющими, для конкретных систем питания различную значимость, условиями которых в общем случае являются следующие требования:

- минимальная масса системы электропитания (особенно ее части, размещаемой на полотне антенны);
- максимальная надежность системы;
- максимальный КПД системы электропитания.

Возбуждение многих печатных антенн осуществляется симметричными устройствами связи, которые имеют 180° фазовый сдвиг и питаются от делителя мощности [3]. В ФАР находят применение фазовращатели с постоянным фазовым сдвигом. Это связано с тем, что в ФАР вдоль линейки излучателей

используется сброс фазы через каждые 360° , что позволяет применять «короткие» фазовращатели, обеспечивающие фазовый сдвиг не более 360° [4].

Применяются различные комбинации параллельно-последовательного, пространственного и фидерного способов возбуждения элементов ФАР [5]. Рассмотрим некоторые из них.

Последовательная схема имеет в своем составе один общий фидер, который работает в режиме бегущей волны.

Недостатки схемы:

1. Небольшой уровень пропускаемой мощности
2. Большие потери мощности
3. Фазовращатели должны быть правильно подобраны по своим характеристикам

Параллельная схема питания имеет несколько вариантов исполнения, и по сравнению с последовательной схемой имеет ряд преимуществ:

1. Высокий уровень пропускаемой мощности
2. Меньшие потери мощности

Недостатки параллельных схем:

1. Сложный блок управления фазовращателями
2. Требуется большой сдвиг по фазе для обеспечения требуемого сектора сканирования

Существует также смешанная схема питания в которой фазовращатели подключены параллельно, но питание к излучателю подводится по одному фидеру.

Также способы электропитания классифицируются следующим образом - централизованная система, децентрализованная система, частично децентрализованная система электропитания.

В централизованной системе присутствует один мощный источник питания, который питается энергией от входной сети через фильтр радиопомех и преобразовывает ее для электроснабжения всего полотна. В децентрализованной системе питание осуществляется от бортсети. В частично децентрализованной системе излучатели группируются таким образом, чтобы выход из строя группы излучателей не приводил к отказу всего полотна.

Матричные системы электропитания являются новым этапом в развитии технологий фазированных решеток. Принцип матричного электропитания состоит в распределении электропитания с помощью встроенных модулей. Матричная структура расположения модулей электропитания позволяет оптимизировать работу отдельных секций антенны.

Выбор типа антенны для определенной цели, т. е. передачи информации или обзора пространства (в радиолокации) определяется ее характерными свойствами [6].

На рис.3 представлена четырехсекционная фазированная антенная решетка которую необходимо обеспечить распределенным электропитанием.

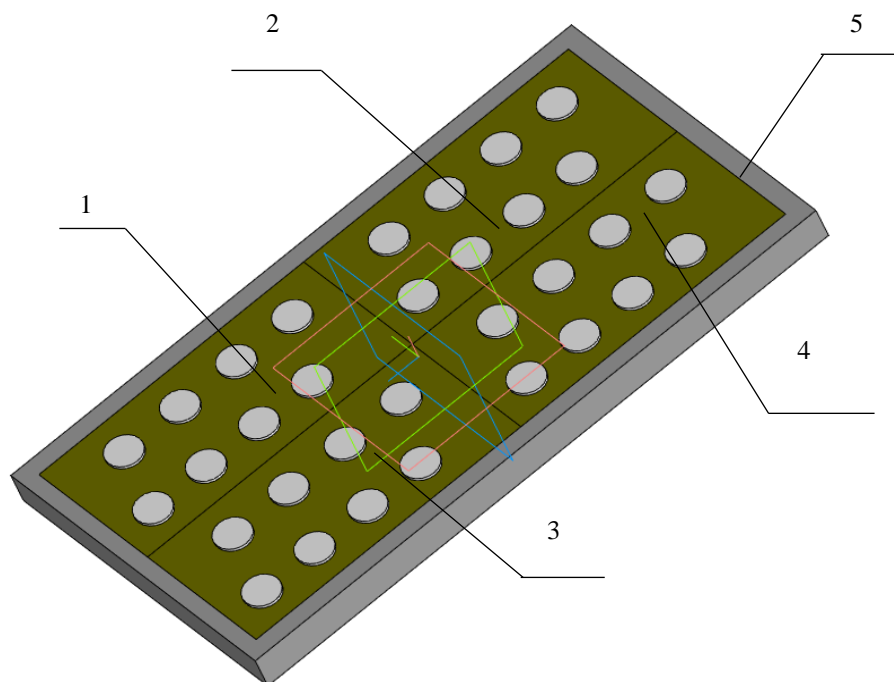


Рисунок 3 - Четырехсекционная ФАР в сборе, установленная в крепежный штатив

Представленная ФАР состоит из следующих элементов: секция 1, секция 2, секция 3, секция 4, штатив 4 (рис. 3). Секция 1 обеспечивает работу в диапазоне 1 ГГц, секция 2 в диапазоне 1,3 ГГц, секция 3 в диапазоне 1,6 ГГц и секция 4 в диапазоне 2 ГГц. Использование частот СВЧ и КВЧ – диапазонов для реализации необходимых функций предъявляет повышенные требования к радиоэлектронной аппаратуре и быстрейшему внедрению новых конструктивных технических решений [7].

В последнее время широкое распространение получил моноимпульсный метод пеленгации при котором при котором отраженный импульс дает полную информацию об угловом положении тела [8]. В разрабатываемой четырехсекционной ФАР применена импульсно-последовательная схема электропитания, т.е сначала подается электропитание на первую секцию антенны в течение времени t , далее на вторую секцию, потом на третью, и наконец на четвертую. Распределение электропитания будет осуществляться с помощью БУ (контроллера) и реле, которые будут замыкать цепи электропитания в соответствии с сигнальными токами от контроллера. Схема распределения электропитания четырехсекционной ФАР приведена на рис. 4.

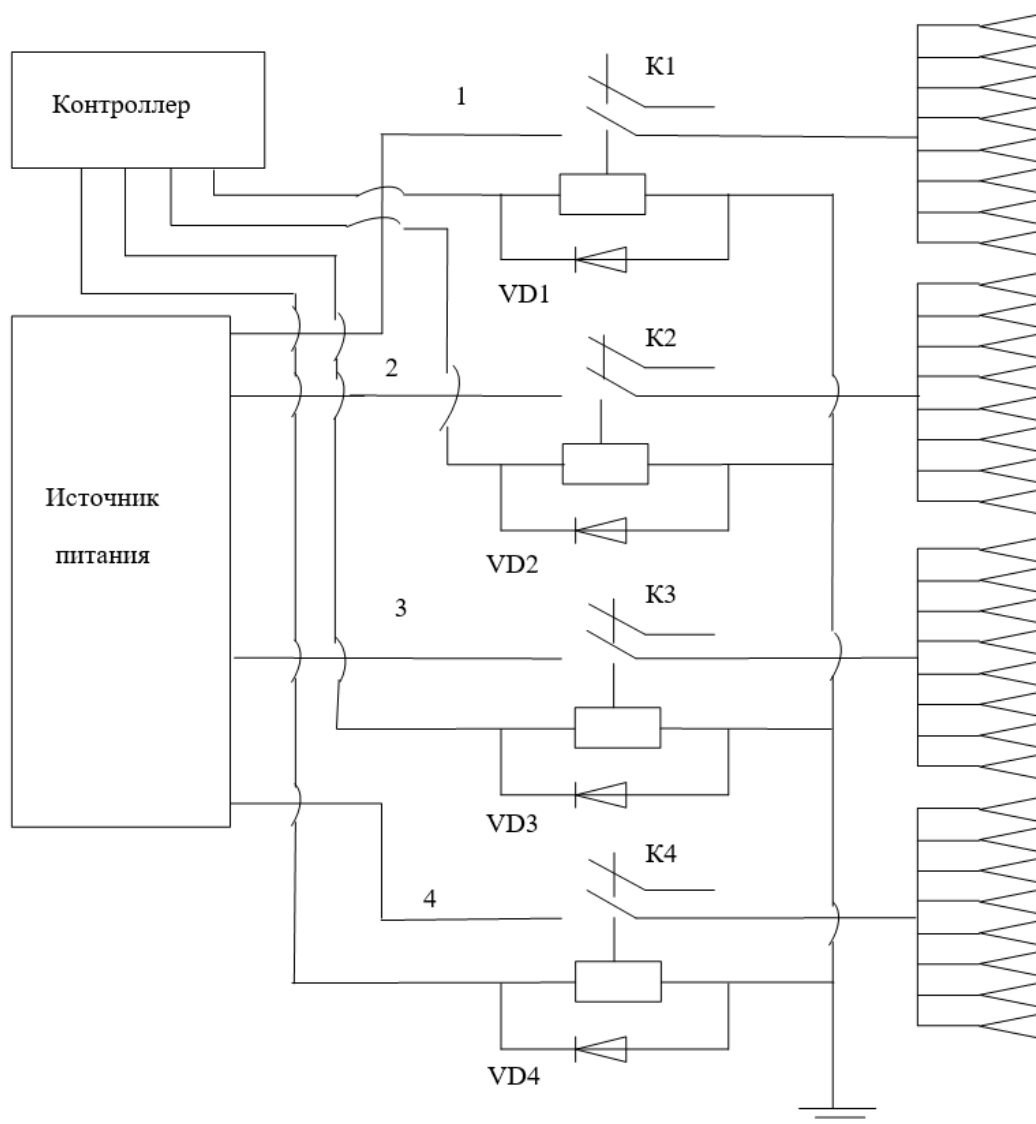


Рисунок 4 - Схема распределения электропитания четырехсекционной ФАР

Антенна в сборе представляет собой конструкцию, которая обеспечивает неподвижность секций антенны в вертикальной и горизонтальной плоскостях, обеспечивает плотное прилегание кромок секций антенны друг к другу без зазора, что положительно сказывается на качестве передачи. Секции, изготовленные из стеклотекстолита, устойчивы к воздействию климатических факторов: температуре окружающей среды от минус 50°C до плюс 60°C, относительной влажности воздуха до 98% ± 2% при температуре плюс 35°C. Данные антенные решетки могут образовывать системы фазированных решеток и использоваться на разнесенных позициях [9]. Все заявленные характеристики и результаты

подтверждаются авторской работой [10]. Геометрия антенны позволяет снизить паразитные излучения за счет уменьшения зазора при соединении секций, снижена трудоемкость за счет применения пазового способа соединения секций антенны, повышена вибропрочность излучателей за счет изменения их формы (круглые плоские металлические излучатели), снижено явление интерференции за счет снижения выступающих элементов (головки винтов), снижена себестоимость за счет применения дешевых материалов (стеклотекстолит), а полоса пропускания достаточно широка. Особенностью антенн данного типа является использование импедансных структур, способных поддерживать плоские или цилиндрические поверхностные волны. При этом антенна конструируется так, что отражение волны от конца структуры мало, и в антенне устанавливается режим, близкий к режиму бегущей волны.

Проведенный сравнительный анализ заявленной фазированной антенной решетки (ФАР) показывает, что заявленная решетка отличается от антенных решеток, взятых за основу тем что:

- секции в четырехсекционной ФАР изготовлены из стеклотекстолита, что позволяет удешевить конструкцию ФАР и учитывая, что стеклотекстолит хорошо обрабатывается (фрезеруется, сверлится и т.д.), снижается трудоемкость и время изготовления секций;

- в четырехсекционной ФАР излучатели имеют круглую плоскую форму, что положительно сказывается на вибропрочности ФАР и позволяет использовать ее на подвижном носителе;

- в четырехсекционной ФАР сборка будет осуществляться с помощью пазового соединения, что позволяет избавиться от выступающих поверхностей, а это ведет к снижению явления интерференции (сложения) полезного и побочного сигналов;

- в четырехсекционной ФАР питание круглых металлических плоских излучателей осуществляется с помощью коаксиальных фидеров, что позволяет снизить влияние побочных сигналов на линию питания, так как коаксиальные фидеры имеют в своем составе защитный экран.

Секции изготавливают из стеклотекстолита методом травления медной фольги по защитному изображению (печатная технология).

Процесс сборки происходит в три этапа с использованием опрессовки:

1. Первая секция антенны соединяется со второй при помощи пазового соединения.
2. Третья секция соединяется с первой и второй следующим образом: выступ третьей секции соединяется с пазом первой секции.
3. Четвертая секция выступом заводится в паз с правой стороны антенны (с торца) и поступательным движением влево совмещается выступом с пазом третьей секции.

Антенная решетка разработана на уровне конструкторского эскиза по которому может быть изготовлен макет для реализации данного технического решения.

В схеме применены электромеханические реле, однако в перспективе возможно применение твердотельных, которые обладают рядом преимуществ, таких как: меньшие размеры, высокая производительность, неограниченный срок службы и т.д. Однако твердотельные реле имеют и свои недостатки такие как: большое сопротивление в выключенном состоянии, склонность к перегреву, появление ложных срабатываний из-за скачков напряжения

Фидеры, используемые при работе ФАР, определяются как электрические цепи и вспомогательные устройства с помощью которых энергия радиочастотного сигнала подводится от радиопередатчика к антенне или от антенны к радиоприемнику [11]. Фидерные линии работают при уровне мощности более низком, чем полые волноводы [12].

Как было указано электропитание ФАР носит импульсно-последовательный характер. При боевой работе это выглядит следующим образом: сначала контроллер подает ток по цепи 1 (рис. 4), в результате чего срабатывает реле К1 и происходит обеспечение питанием первой секции антенны. Первая секция антенны осуществляет сканирование пространства сигналом с характеристиками $f=1$ ГГц, $\lambda=300$ мм в течение некоторого фиксированного отрезка времени t (время работы вводится в контроллер программно и будет составлять порядка 2 – 5 мин.). Если за время работы первой секции не получено никаких отметок цели, контроллер выключает цепь 1 и подает питание по цепи 2. В результате вторая секция начинает сканировать пространство сигналом с характеристиками $f=1,3$ ГГц, $\lambda=223$ мм, далее по истечении времени 2 – 5 мин., если не получено отметок цели, происходит переключение на цепь 3 и третья секция сканирует пространство сигналом с характеристиками $f=1,6$ ГГц, $\lambda=181$ мм, далее при отсутствии меток включается четвертая секция ($f=2$ ГГц, $\lambda=150$ мм), и если обнаружения нет, контроллер переключает на цепь 1. В том случае, если при работе одной из четырех секции получены метки обнаружения цели, оператор отправляет команду на контроллер о сопровождении цели и дальнейшая работа антенны осуществляется той секцией антенны, которая обнаружила цель. В случае срыва обнаружения и пропадания меток на экране, оператор отправляет на контроллер команду о снятии сопровождения цели и работа антенны начинается осуществляться в штатном режиме импульсно-последовательно начиная с первой секции антенны и заканчивая четвертой.

Преимущества данной схемы обнаружения БПЛА:

1. Ввиду того, что данная ФАР имеет секционный характер, то соответственно количество секций можно увеличивать в произвольном порядке, тем самым увеличивая диапазон радиосигналов сканирования, что позволит обнаруживать БПЛА, имеющие любую эффективную площадь рассеивания, и использующие различные системы наведения в том числе и инерциальную.
2. Секция антенны, вышедшая из строя, легко демонтируется и меняется на исправную в полевых условиях.
3. В схеме используется один источник питания, что упрощает и удешевляет конструкцию антенны.
4. Антенна может устанавливаться на автомобильное шасси и оперативно менять точку дислокации.
5. Конструкция антенны имеет относительно небольшой вес, так как при ее изготовлении используются композиционные материалы (стеклотекстолит)
6. Конструкция антенны устойчива к внешним воздействиям (влага, температура, снег, вибрация).

Литература

1. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. – М: Радио и связь, 1992. – 304 с.
2. Амитей Н., Галиндо В., Ву Ч. Теория и анализ фазированных антенных решеток. – М: Мир, 1974. – 455 с.
3. Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки. . – М: Техносфера, 2012. – 560 с.
4. Хижа Г.С., Вендик И.Б., Серебряков Е.А. СВЧ фазовращатели и переключатели. М: Радио и связь, 1984. – 184 с.
5. Филиппов В.С., Пономарев А.Ю., Гринев А.Ю. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток. – М: Радио и связь, 1994. – 592 с.
6. Кюн Р. Микроволновые антенны. – М: Судостроение, 1967. – 517 с.
7. Гололобов Д.В., Бобков Ю.Ю. Основы электромагнитной теории, антенны и устройства СВЧ. М: БГУИР, 2013. – 79 с.
8. Леонов А.И. Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. – М: Радио и связь, 1984. – 123с.
9. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. – М: Радиотехника, 2015. – 432 с.
10. Патент на изобретение № 2810947. Фазированная антенная решетка четырехсекционная / Карпухин С.А. Оpubл. 09.01.2024 Бюл. № 1.
11. Кубанов В.П., Ружников В.А., Сподобаев М.Ю., Сподобаев Ю.М. Основы теории антенн и распространения радиоволн. – С: ИНУЛ-ПГУТИ, 2016. – 258 с.
12. Вендик О.Г., Парнес М.Д., Антенны с электрическим сканированием. – М: - Сайнс-пресс, 2001. – 250 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА ИНТЕГРИРОВАНИЯ С ВЫБОРОМ ПЕРЕМЕННОЙ ИНТЕГРИРОВАНИЯ НА КАЖДОМ ШАГЕ ДЛЯ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ДИАГРАММУ НАПРАВЛЕННОСТИ БОРТОВОЙ АНТЕННЫ

Конов К.И.

НИУ Московский авиационный институт
+7 (977) 474-43-06, konov.k.i@gmail.com

В работе рассмотрена задача о изменении диаграммы направленности бортовой антенны ракеты-носителя при включении ракетного двигателя. Численное электродинамическое(электромагнитное) моделирование во временной области для этой задачи проведено с использованием программного комплекса Tamic. В первой части работы исследована диаграмма направленности бортовой антенны с учетом корпуса ракеты-носителя. Во второй части работы в расчетную область включено пространственное распределение диэлектрической проницаемости от кординаты, соответствующее плазменной струе от ракетного двигателя на активном участке траектории. Построены диаграммы направленности для обоих случаев. Проведено сравнение полученных диаграмм направленности и сделаны выводы о влиянии включения двигателя на форму главного лепестка.

Ключевые слова: численное электродинамическое моделирование, ракетный двигатель, антенна, диаграмма направленности.

Using an integration algorithm with the selection of an integration variable at each step to account the influence of the rocket engine on the directional diagram of the on-board antenna. Konov. K.I., Moscow Aviation Institute (National Research University).

The paper considers the problem of changing the radiation pattern of the onboard antenna of a launch vehicle when the rocket engine is turned on. Numerical electrodynamic (electromagnetic) simulation in the time domain for this problem was carried out using the Tamic software package. In the first part of the work, the radiation pattern of the onboard antenna was studied taking into account the body of the launch vehicle. In the second part of the work, the computational domain includes the spatial distribution of the dielectric constant from the coordinate, corresponding to the plasma jet from the rocket engine in the active section of the trajectory. Directional patterns were constructed for both cases. The obtained radiation patterns were compared and conclusions were drawn about the effect of turning on the engine on the shape of the main lobe.

Keywords: numerical electrodynamic modeling, rocket engine, antenna, radiation pattern.

Введение

Вопрос влияния работающего ракетного двигателя на диаграмму направленности антенны [1,2], расположенной на борту ракеты-носителя, исследован в [3-5]. Выводимый в космическое пространство или на околоземную орбиту космический аппарат помещается в головную часть корпуса ракеты-носителя, чтобы избежать повреждений при прохождении через плотные слои атмосферы. Бортовая антенна, расположенная на корпусе ракеты-носителя, используется для передачи телеметрической информации на Землю и связи с центром управления полётами.

Качественная передача телеметрии важна для успешных запусков космических аппаратов [5]. Выход ракеты-носителя на активную часть траектории (включение двигателя) сопровождается выбросом плазменного потока из сопла двигателя [3-5]. При проектировании бортовой антенны важно учитывать влияние на её электродинамические характеристики не только корпуса ракеты-носителя, но и плазмы факела ракетного двигателя при его работе. Этот вопрос рассматривается в различных исследованиях и экспериментах [3-5].

В данной работе выполнено численное электродинамическое моделирование описанной задачи с использованием программного пакета Tamic RT-H, который позволяет изучить распространение электромагнитных волн во временной области. Исследуемая геометрия может включать функциональную зависимость относительной диэлектрической проницаемости от координаты. В основе расчетного ядра программы лежит метод импедансного аналога электромагнитного пространства Б. В. Сестроречского, разработанный для оптимизации антенных систем [1,6], также известного как метод импедансных сеток [7-11].

Основная идея этого метода заключается в представлении исследуемой задачи в виде сложной эквивалентной электрической цепи, состоящей из сосредоточенных (RLC) или распределённых (Rt) элементов. Составленная таким образом эквивалентная электрическая схема рассчитывается численно. Использование метода импедансного аналога электромагнитного пространства позволяет работать с физической моделью исследуемой системы.

Tamic RT-H применяется для проектирования наземных и бортовых элементов СВЧ-трактов, радиотелескопов, а также для изучения влияния конструкций космических аппаратов на диаграммы направленности антенных систем. Этот программный комплекс широко используется в РНЦ «Курчатовский институт» для моделирования процессов отражения электромагнитных волн в термоядерной установке Т-10.

Постановка проблемы

Предыдущие исследования [3-5] показали, что двумерные модели эффективно описывают влияние плазменного шлейфа, появляющегося при работе ракетного двигателя, на диаграмму направленности бортовых антенн [7-11]. Геометрия исследуемой задачи представлена на рис. 1. На нём изображена ракета-носитель, наземная приёмная антенна, система координат и область плазмы, возникающая при включении двигателя ракеты-носителя.

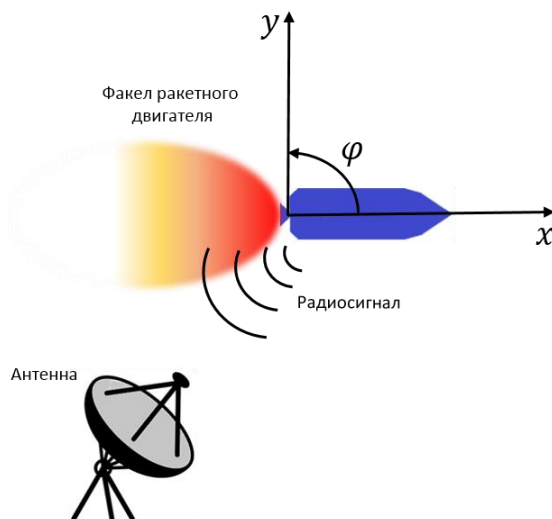


Рисунок 1 – Геометрия задачи

Распределение амплитуды и фазы при моделировании бортовой антенны и корпуса ракеты-носителя

Для моделирования выбран метод импедансного аналога электромагнитного пространства Сестрорецкого [7-11] из-за его эффективности при моделировании, а также осевой симметрии задачи, позволяющей проводить ее моделирование в двумерном случае. Расчёт проведен для частоты, на которой происходит передача телеметрии. На первом этапе изучено распространение электромагнитных волн от бортовой антенны с учётом корпуса ракеты-носителя. На втором этапе рассмотрен плазменный шлейф, возникающий при включении двигателя. На третьем этапе проведено сравнение результатов.

При моделировании задачи исследуется область размером 46×73 длин волн. Отношение длины волны к шагу сетки составляет 25, а количество узлов сетки — 2 млн. Для расчётов потребовалось 95,23 МБ оперативной памяти. Вычисления проводились на компьютере с процессором AMD Ryzen 7 5800X и 32 ГБ оперативной памяти и заняли 1 минуту 34 секунды. Распределение амплитуды электромагнитного поля представлено на рисунке 2 (а). Ось координат добавлена для удобства сравнения с геометрией задачи (рисунок 1). Результаты моделирования показывают чёткую направленность бортовой вибраторной антенны. На рис. 2 (б) показано распределение фазы электромагнитного поля. Результаты моделирования указывают на линейный характер изменения фазы электромагнитного поля. Исключение составляет область за головной частью ракеты-носителя, где происходит сложение волн, распространяющихся снизу и сверху относительно ракеты-носителя.

В диссертации [11] описывается опыт измерения диаграммы направленности бортовой вибраторной антенны в безэховой камере. Согласно [11], сравнение диаграмм направленности реальной бортовой вибраторной антенны с результатами, полученными в программе Planar Rt-H, демонстрирует хорошее соответствие между измеренными и расчётными значениями. Это указывает на достаточную точность расчётов программы и подтверждает её применимость для моделирования реальных антенных систем.

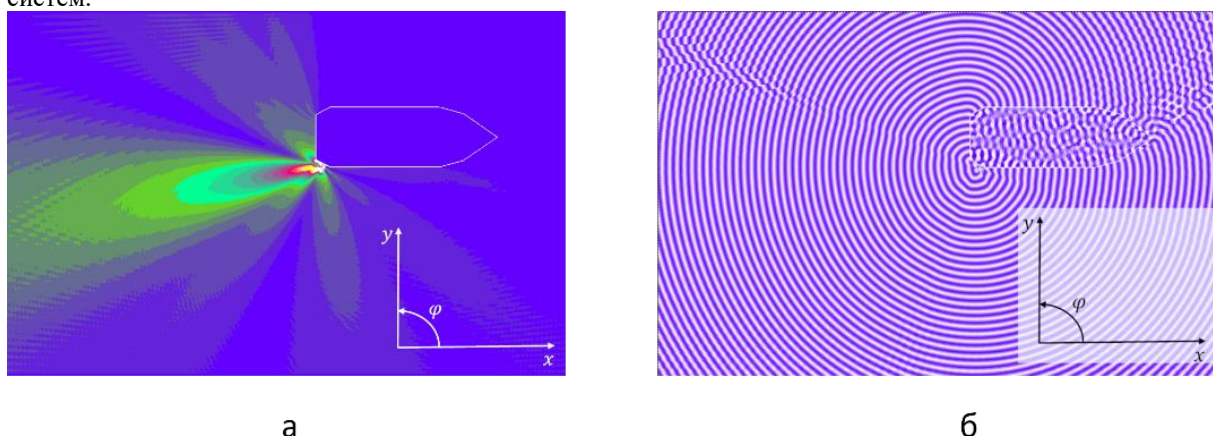


Рисунок 2 – Амплитудное (а) и фазовое (б) распределение электромагнитного поля бортовой вибраторной антенны с учетом корпуса ракеты-носителя

Распределение амплитуды и фазы при моделировании бортовой антенны с учетом корпуса ракеты-носителя и включенного двигателя

Второй этап исследования включал численное электродинамическое моделирование распространения электромагнитных волн, излучаемых бортовой антенной, с учётом корпуса ракеты-носителя при работающем двигателе. Запуск двигателя означает, что ракета находится на активном участке траектории, где за соплом двигателя образуется плазменная область, влияющая на распространение электромагнитных волн на частоте передачи телеметрии. Структура плазменной области описана в [3]. Исследование особенностей этого распределения проведено в [4]. Распределение плазменного частотного сечения в зависимости от координаты, полученное в [4], показано на рисунке 3.

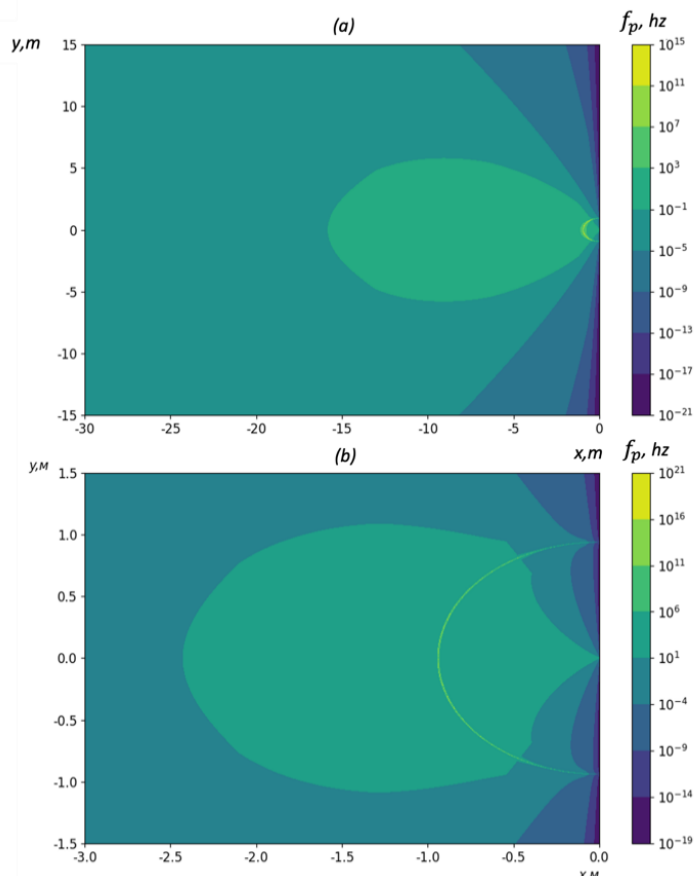


Рисунок 3 – Сечение частоты плазменных колебаний в плоскости XOY в области, прилегающей к соплу: а – до 400 м, б – до 4 м

На рис. 3 показано сечение значений частоты плазменных колебаний внутри плазменного факела вблизи сопла ракетного двигателя, полученное в [4] в плоскости XOY. На расстоянии менее 1 метра от сопла двигателя плазменная частота может достигать порядка сотен ПГц. Пространственная структура распределения частот плазменных колебаний имеет аксиальную симметрию относительно оси абсцисс. Эти результаты позволили определить размер области моделирования задачи излучения бортовой антенны с учётом корпуса ракеты-носителя и плазменного факела.

На рис.4 (а) представлены результаты расчёта амплитуды электромагнитного поля. Для наглядности на рисунке также представлено пространственное распределение относительной диэлектрической проницаемости в плазменном факеле ракетного двигателя, рассчитанное из пространственного распределения плазменной частоты. Как видно из рисунка, пространственное распределение амплитуды электромагнитного поля существенно меняется по сравнению с результатами, представленными на рисунке 2 (а). Электромагнитные волны отражаются от плазменного факела, что приводит к смещению основного направления излучения. Следствием этого является появление четырёх направлений с высоким уровнем амплитуды поля. Пространственное распределение фазы электромагнитного поля показано на рисунке 4 (б). Как видно из рисунка, в дальней зоне, в направлении большой плотности потока мощности, фаза электромагнитного поля изменяется по линейному закону, так как волна распространяется в свободном пространстве. В области плазменного факела наблюдается перераспределение фазы электромагнитного поля, что объясняется отсутствием бегущей волны.

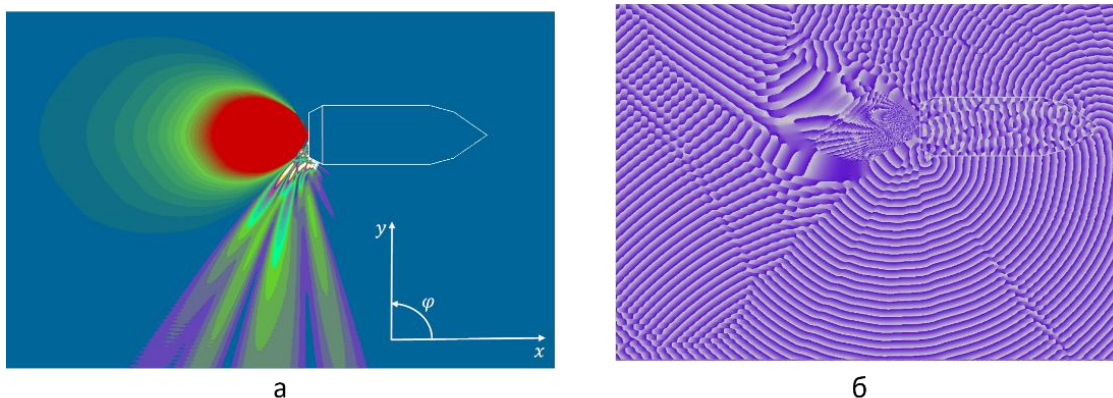


Рисунок 4 – Амплитудное (а) и фазовое (б) распределение электромагнитного поля бортовой вибраторной антенны с учетом корпуса ракеты-носителя и включенного двигателя

На рис. 5 показаны ненормированные диаграммы направленности бортовой антенны ракеты-носителя в дБ. Первая диаграмма направленности рассчитывается на основе полученных амплитудно-фазовых распределений на границах расчётной области для первого моделирования, когда учитывается только корпус ракеты-носителя. Вторая диаграмма направленности рассчитана для случая, когда помимо корпуса ракеты-носителя учитывается ещё и плазменный шлейф от работающего двигателя. Как видно из рисунка 8, главный лепесток диаграммы направленности в первом случае ориентирован в направлении $189,5^\circ$. При этом ширина лепестка на половинном уровне мощности составляет $21,2^\circ$. Во втором случае наблюдается смещение главного лепестка. Он ориентирован в направлении $265,2^\circ$. При этом отметим, что его форма существенно меняется. Заметно разделение главной доли на четыре компонента. Этот эффект объясняется отражением электромагнитных волн от плазменного шлейфа, образуемого работающим двигателем, и соответствует картине пространственного распределения амплитуды электромагнитного поля на рисунке 4 (а).

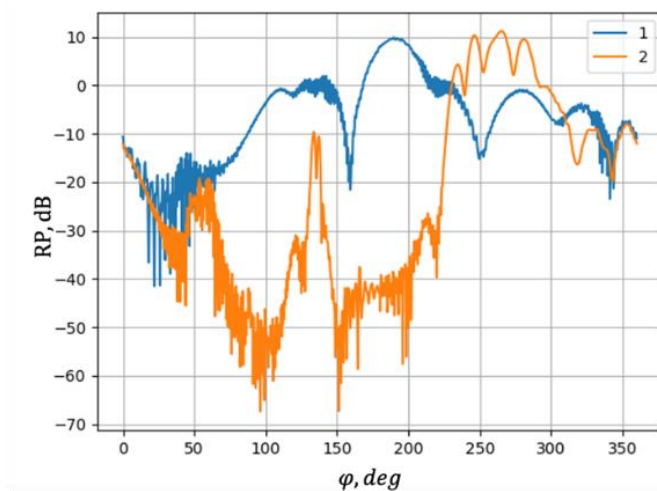


Рисунок 5 – Диаграммы направленности вибраторной бортовой антенны при выключенном двигателе (кривая 1) и включенном (кривая 2)

На рис. 6 наглядно показано влияние плазменного факела на диаграмму направленности бортовой антенны. Как видно из рисунка, пренебрежение смещением основного лепестка диаграммы направленности может ухудшить качество радиосвязи при передаче телеметрии с ракеты-носителя на наземную станцию. На активном участке траектории уровень диаграммы направленности в направлении главного лепестка, соответствующего главному лепестку при выключении двигателя, уменьшается на 48 дБ.

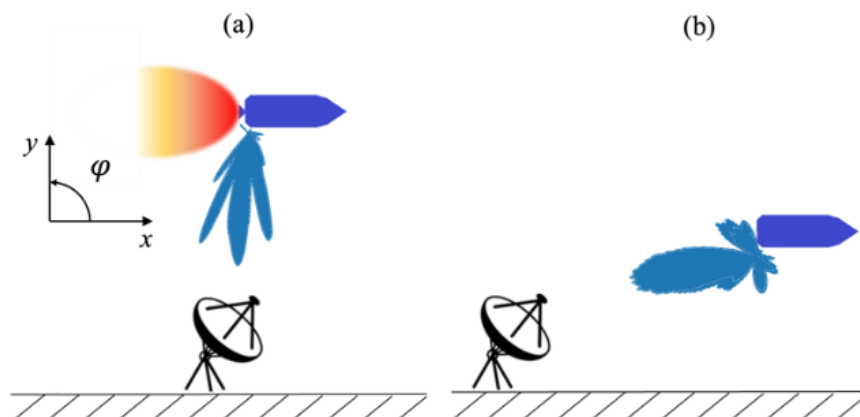


Рисунок 6 – Наглядное сравнение диаграмм направленности бортовой антенны при включенном двигателе (а) и выключенном (б)

Заключение

В исследовании рассматривается проблема изменения диаграммы направленности бортовой антенны ракеты-носителя при переходе на активный участок траектории. Ракетный двигатель создаёт плазменный шлейф, отражающий электромагнитные волны, излучаемые бортовой антенной. Численное электродинамическое моделирование задачи проведено с использованием программного пакета Tamic Planar RT-N. В исследовании представлены пространственные распределения амплитуды и фазы электромагнитного поля при выключенном и выключенном двигателе. При включении двигателя уровень диаграммы направленности в направлении главного лепестка уменьшается на 48 дБ, а главный лепесток смещается на 75,7 градуса и разделяется на 4 лепестка. Из представленных результатов следует, что необходимо учитывать влияние этого эффекта при проектировании бортовых антенн и приёме телеметрических сигналов на активном участке траектории.

Литература

1. Конов, К. И. Снижение уровня боковых лепестков диаграммы направленности линейной эквидистантной фазированной антенной решётки / К. И. Конов, К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 1(29). – С. 69-76. – EDN AYWWXK.
2. Конов, К. И. Подавление уровня боковых лепестков в модельной задаче об излучении антенной решетки с заданными парциальными диаграммами / К. И. Конов, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2021. – Т. 66, № 6. – С. 581-593. – DOI 10.31857/S0033849421060164. – EDN RULYBM.
3. K. Kinefuchi, I. Funaki, T. Shimada, and T. Abe, J. Spacecr. Rockets 47, 627 (2010).
4. Конов, К. И. Построение траекторий лучей при рассеянии электромагнитных волн от неоднородной плазмы факела ракетного двигателя / К. И. Конов, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2022. – Т. 67, № 8. – С. 745-753. – DOI 10.31857/S0033849422080083. – EDN HFKWCG.
5. Конов, К. И. Использование метода импедансного аналога электромагнитного пространства Сестрорецкого для учета влияния плазмы ракетного двигателя на диаграмму направленности бортовой антенны / К. И. Конов, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2023. – Т. 68, № 8. – С. 751-756. – DOI 10.31857/S0033849423080077. – EDN ZIUFGJ.
6. Дризе, А. Д. Численное электродинамическое моделирование волноводного режекторного фильтра для станции спутниковой связи / А. Д. Дризе, К. И. Конов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. – 2019. – № 1. – С. 472-476. – EDN ZHKFUH.
7. Климов, К. Н. Дифференциальные уравнения для решения задач рассеяния электромагнитных волн во временной области / К. Н. Климов, Б. В. Сестрорецкий // Журнал радиоэлектроники. – 2001. – № 2. – С. 3. – EDN MSRYGR.
8. Klimov, K. N. Time-Domain Differential Equations for Electromagnetic Waves in Media with Frequency Dispersion / K. N. Klimov, B. V. Sestroretskii // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2001. – Vol. 46, No. 10. – P. 1131-1133. – EDN LVJUKX.
9. Климов, К. Н. Построение эквивалентной схемы элементарного объема пространства для подмагниченной плазмы / К. Н. Климов, Б. В. Сестрорецкий // Радиотехника и электроника. – 2005. – Т. 50, № 6. – С. 647-658. – EDN HSHSSL.

10. Алгоритм 2D-электродинамического анализа неоднородной подмагниченной плазмы для волн E-поляризации / К. Н. Климов, Т. В. Камышев, В. А. Рученков, Б. В. Сестрорецкий // Радиотехника и электроника. – 2006. – Т. 51, № 7. – С. 773-785. – EDN OORBOJ.

11. Климов, К. Н. Методология численного анализа во временной области двумерных импедансносеточных моделей антенных систем и электродинамических объектов большой размерности : специальность 05.12.07 "Антенны, СВЧ-устройства и их технологии" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Климов Константин Николаевич. – Москва, 2007. – 402 с. – EDN QDYLGТ.

3D ЧИСЛЕННОЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНОГО АНТЕННОГО ПОЛОТНА

Макарушкин Г.Г.
ПАО «НПО «Алмаз» ТОП «ЛЭМЗ»
+7(495)485-15-22, skultik@bk.ru

В данной статье приведены результаты численного 3D электродинамического моделирования четырехканального антенного полотна. Получены следующие характеристики, такие как: КСВ и коэффициент отражения каналов, диаграмма направленности, развязка, распределение электрического тока на поверхности антенны. Показано, что предложенная топология четырехканального антенного полотна обеспечивает диапазон рабочих частот октава.

Ключевые слова: антенное полотно, приемная антенна, 3D численное электродинамическое моделирование, диаграмма направленности, коэффициент усиления, полоса рабочих частот, КСВ.

This article presents the results of numerical 3D electrodynamic modeling of a four-channel antenna. The following characteristics were obtained, such as: VSWR and channel reflection coefficient, radiation pattern, isolation, distribution of electric current on the antenna surface. It is shown that the proposed topology of the four-channel antenna provides an octave operating frequency range.

Key words: antenna, receiving antenna, 3D numerical electrodynamic modeling, radiation pattern, gain factor, operating frequency band, VSWR.

Введение

Рассматриваемая топология четырехканального антенного полотна [1] входит в состав цифровой антенной решетки, рассмотренной в работе [2]. В состав антенного полотна входят четыре одинаковые приемные антенны линейной поляризации [3], которые расположены на алюминиевом прямоугольном полотне. Предложенная в топология [1], обладает достаточной жесткостью, это позволяет конструкции не разрушаться при любых погодных условиях и иметь стабильные характеристики при использовании. У предложенного четырехканального антенного полотна преимущество состоит в том, что в ее состав не входят сложные конструкции, что снижает стоимость и повышает надежность. Оно состоит из алюминиевого полотна (основная часть изделия) и четырех одинаковых приемных антенн [2,3]. Эти приемные антенны повернуты под углом 45 градусов к оси абсцисс. Топология приемной антенны и их характеристики описаны в работах [4,5]. Данные приемные антенны работают в частотном диапазоне – октава, что позволяет ожидать соответствующего диапазона частот от полотна, состоящего из данных антенн.

Постановка задачи

К рассматриваемому четырех канальному антенному полотну цифровой фазированной антенной решетки были предъявлены следующие требования: 1) КСВ антенного полотна, а именно его уровень, не должен превышать значения 2.4 в рабочем диапазоне частот; 2) коэффициент усиления в рабочем диапазоне частот каждой приемной антенны должен составлять не менее 5дБ; 3) Развязка каналов антенного полотна в рабочем диапазоне частот должна быть не менее 20дБ. Далее опишем топологию четырехканального антенного полотна.

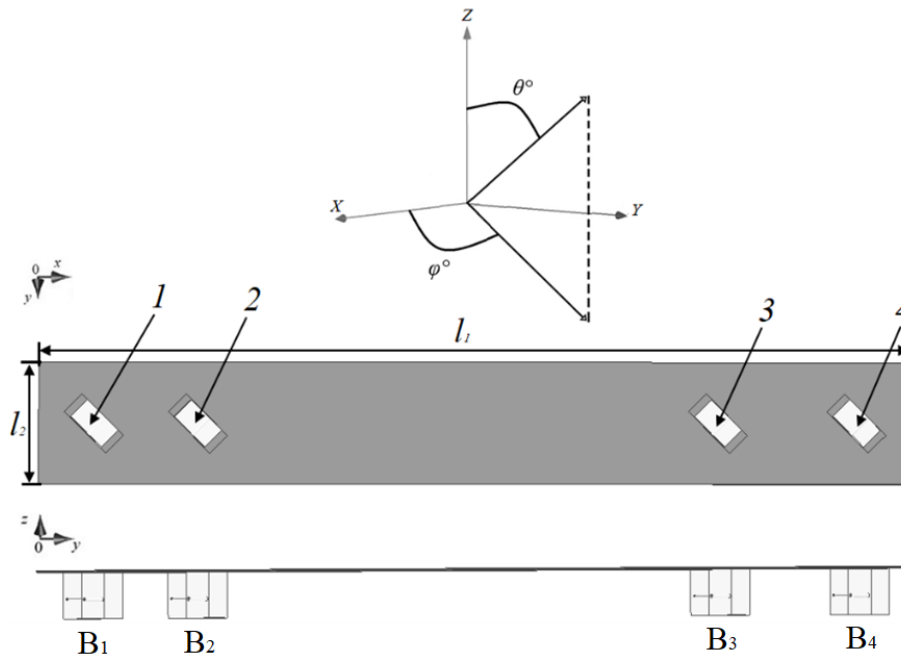


Рисунок 1 – Топология четырехканального антенного полотна

Длина основания антенного полотна l_1 (см. рис.1) составляет $12,6\lambda_0$, ширина основания равна $1,76\lambda_0$, где λ_0 – длина волны в свободном пространстве, соответствующая средней частоте рабочего диапазона F_0 . Толщина алюминиевого полотна составляет $0,01\lambda_0$. Приемные антенны первого, второго, третьего и четвертого каналов будут обозначаться соответственно как B_1 , B_2 , B_3 и B_4 . Расстояние между приемными антеннами B_1 и B_2 равно $2\lambda_0$, между приемными антеннами B_1 и B_3 равно $9,5\lambda_0$, между приемными антеннами B_1 и B_4 равно $11\lambda_0$. Отметим, что топологии приемных антенн всех четверых каналов B_1 , B_2 , B_3 , B_4 одинаковы. Далее рассмотрим топологию приемной антенны в отдельности.

Длина приемной антенны равна $0,8\lambda_0$, ширина $0,4\lambda_0$, высота $0,7\lambda_0$. В состав приемной антенны входит коаксиально – волноводный переход (КВП). КВП представляет собой отрезок металлического волновода, один из концов которого замкнут, а другой открыт. Размеры коаксиальной линии КВП следующие: диаметр внутреннего проводника составляет $0,01\lambda_0$, а диаметр внешнего проводника - $0,03\lambda_0$. Центр внутреннего проводника коаксиальной линии КВП сдвинут на $0,3\lambda_0$, относительно края широкой стенки волновода. Внутри антенны находится тefлоновая трубка, которая предназначена для фиксации коаксиальной линии центрального проводника КВП.

Численное моделирование антенного полотна проводилось для всей геометрии и для каждого канала отдельно. Подробное описание геометрии приемной антенны рассмотрено в работах [3-5].

Результаты 3D э/д моделирования

3D численное электродинамическое моделирование полотна проводилось в программном комплексе ANSYS Electromagnetics Suite 2019 с выполнением расчета в частотном диапазоне от $F_0 - \Delta f$ до $F_0 + \Delta f$, где Δf – половина ширины рабочего диапазона частот четырехканального антенного полотна. Использовался компьютер с процессором Intel Core i7 – 8700k частотой 4.2ГГц и оперативной памятью 384Гбайт, видеокарта Quadro r6000 24Гбайт, со сходимостью модулей элементов рассеяния Delta S 0.01, с шагом $0.0075F_0$. При необходимости расчета нескольких четырехканальных антенных полотен, входящего в состав сверхширокополосной решетки [2], потребуются компьютеры с большим объемом оперативной памяти.

На рисунке 2 приведен график КСВ [6] приемных антенн четырех канального полотна: линия 1- (приемная антенна 1), линия 2- (приемная антенна 2), линия 3- (приемная антенна 3), линия 4- (приемная антенна 4). По оси ординат отложено значение КСВ, по оси абсцисс – частота в ГГц. В заданном диапазоне частот (от $F_0 - \Delta f$ до $F_0 + \Delta f$) значение КСВ приемных антенн, каждого канала, не превышает значения 2.4. Относительная полоса частот данной геометрии составляет 66,5% по уровню КСВ = 2.4. На данном графике линии четырех приемных антенн практически одинаковые и не имеют резких перепадов. При таком соотношении рабочей полосы частот [7-9], отношение верхнего значения полосы рабочих частот к нижнему (коэффициенту перекрытия) составляет 2 или октаву.

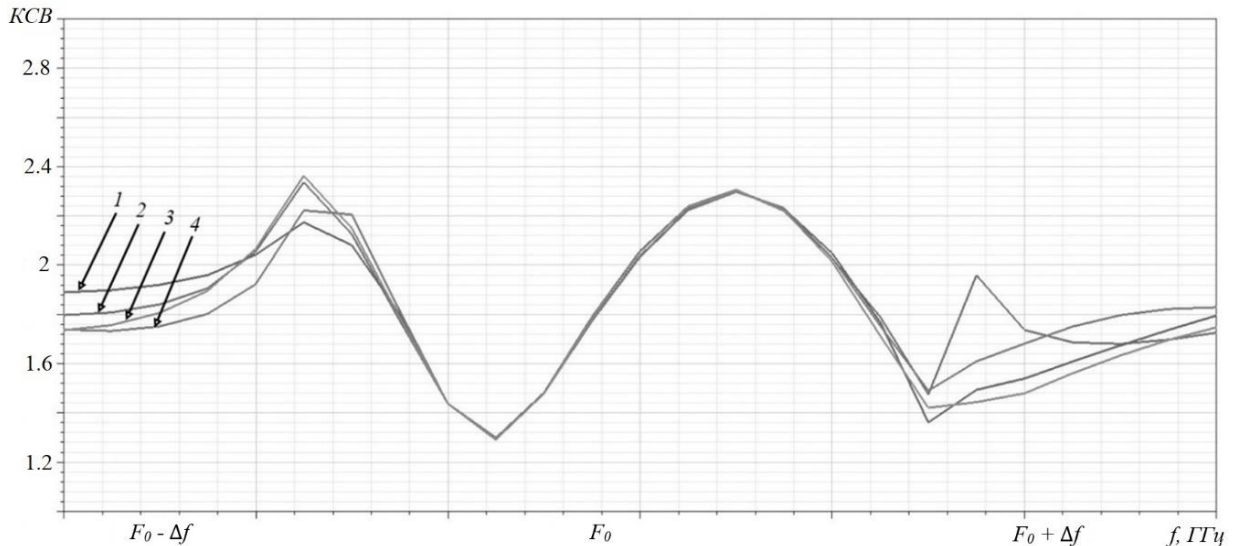


Рисунок 2 – График КСВ приемных антенн полотно

Также была посчитана зависимость КУ от угла θ для канала первой приемной антенны на частоте $F_0 - \Delta f$, при $\varphi = 0^\circ$. Ширина диаграммы направленности относительно максимального значения КУ 5.1дБ составила ± 52 (по уровню -3дБ). Зависимость КУ от угла θ на частоте $F_0 - \Delta f$, при $\varphi = 44^\circ$. Ширина диаграммы направленности относительно максимального значения КУ 6.2дБ составила ± 55 (по уровню -3дБ). Зависимость КУ от угла θ на частоте $F_0 - \Delta f$, при $\varphi = 90^\circ$. Ширина диаграммы направленности относительно максимального значения КУ 6.3дБ составила ± 35 (по уровню -3дБ). Была рассчитана неравномерность коэффициента усиления по углу φ , которая составила меньше 1.9дБ при $\theta = \pm 30^\circ$. При $\theta = \pm 16^\circ$, неравномерность коэффициента усиления по углу φ , составила 0.1дБ. При $\theta = 0^\circ$, неравномерность коэффициента усиления по углу φ , составила менее 0.1дБ. Неравномерность коэффициента усиления рассчитывалась на частоте $F_0 - \Delta f$.

Далее рассмотрим зависимость КУ от угла θ для канала второй приемной антенны, при $\varphi = 0^\circ$. Ширина диаграммы направленности относительно максимального значения КУ 5.3дБ составила ± 45 (по уровню -3дБ). Зависимость КУ от угла θ , при $\varphi = 44^\circ$. Ширина диаграммы направленности относительно максимального значения КУ 5.7дБ составила ± 37 (по уровню -3дБ). Зависимость КУ от угла θ на частоте $F_0 - \Delta f$, при $\varphi = 90^\circ$. Ширина диаграммы направленности относительно максимального значения КУ 5.9дБ составила ± 57 (по уровню -3дБ). Зависимость КУ от угла θ рассчитывалась на частоте $F_0 - \Delta f$. Неравномерность коэффициента усиления по углу φ , которая составила меньше 2.9дБ при $\theta = \pm 30^\circ$. При $\theta = \pm 16^\circ$, неравномерность коэффициента усиления по углу φ , составила 1.7дБ. При $\theta = 0^\circ$, неравномерность коэффициента усиления по углу φ , составила менее 0.1дБ. Неравномерность коэффициента усиления рассчитывалась на частоте $F_0 - \Delta f$.

Зависимость КУ от угла θ для канала третьей приемной антенны, при $\varphi = 0^\circ$. Ширина диаграммы направленности [10] относительно максимального значения КУ 5.8дБ составила ± 44 (по уровню -3дБ). Зависимость КУ от угла θ , при $\varphi = 44^\circ$. Ширина диаграммы направленности относительно максимального значения КУ 5.2дБ составила ± 32 (по уровню -3дБ). Зависимость КУ от угла θ на частоте $F_0 - \Delta f$, при $\varphi = 90^\circ$. Ширина диаграммы направленности относительно максимального значения КУ 5.5дБ составила ± 56 (по уровню -3дБ). Зависимость КУ от угла θ рассчитывалась так же на частоте $F_0 - \Delta f$. Неравномерность коэффициента усиления по углу φ , которая составила меньше 1.2дБ при $\theta = \pm 30^\circ$. При $\theta = \pm 16^\circ$, неравномерность коэффициента усиления по углу φ , составила 1дБ. При $\theta = 0^\circ$, неравномерность коэффициента усиления по углу φ , составила менее 0.1дБ. Неравномерность коэффициента усиления так же рассчитывалась на частоте $F_0 - \Delta f$.

Результат зависимости КУ от угла θ четвертой приемной антенны [11], при $\varphi = 0^\circ$ опишем ниже. Ширина ДН относительно максимального значения КУ 6.2дБ составила ± 43 (по уровню -3дБ). Зависимость КУ от угла θ , при $\varphi = 44^\circ$. Ширина диаграммы направленности относительно максимального значения КУ 5.9дБ составила ± 31 (по уровню -3дБ). Зависимость КУ от угла θ на частоте $F_0 - \Delta f$, при $\varphi = 90^\circ$. Ширина диаграммы направленности относительно максимального значения КУ 6.1дБ составила ± 53 (по уровню -3дБ). Зависимость КУ от угла θ рассчитывалась на частоте $F_0 - \Delta f$. Неравномерность коэффициента усиления по углу φ , которая составила меньше 2.1дБ при $\theta = \pm 30^\circ$. При $\theta = \pm 16^\circ$, неравномерность коэффициента усиления по углу φ , составила 1.2дБ. При $\theta = 0^\circ$, неравномерность коэффициента усиления по углу φ , составила менее 0.1дБ. Неравномерность коэффициента усиления рассчитывалась на частоте $F_0 - \Delta f$.

Распределение электрического тока [12] на поверхностях металла при возбуждении приемных антенн V_1, V_2, V_3, V_4 идентичное и не пересекается друг с другом, следствием чего является обеспечение приемлемой (от -25дБ до -60дБ) развязки между каналами. Далее опишем развязку между каналами приемных антенн.

На рисунке 3 показана развязка каналов приемных антенн полотна. Линия 1 – развязка между каналами $V_1 - V_2$ составляет более -35дБ, линия 2 – развязка между каналами $V_1 - V_3$ более -34дБ, линия 3 – развязка между каналами $V_1 - V_4$ более -33дБ, линия 4 – развязка между каналами $V_2 - V_3$ более -30дБ, линия 5 – развязка между каналами $V_2 - V_4$ более -40дБ, линия 6 – развязка между каналами $V_3 - V_4$ более -43дБ. Все линии плавные и не имеют резких перепадов и находятся в диапазоне от -25дБ до -60дБ, что соответствует требованиям.

На частоте $F_0 - \Delta f$, развязка антенн $V_1 - V_2, V_1 - V_3, V_1 - V_4, V_2 - V_3, V_2 - V_4, V_3 - V_4$ входят в диапазон от -35дБ до -45дБ.

На частоте F_0 , развязка антенн $V_1 - V_2, V_1 - V_3, V_2 - V_3, V_2 - V_4, V_3 - V_4$, имеет диапазон от -42дБ до 53дБ, только линия 4 находится в пределах -30дБ.

На частоте $F_0 + \Delta f$, развязка антенн $V_1 - V_2, V_1 - V_3, V_1 - V_4, V_2 - V_3, V_2 - V_4, V_3 - V_4$ входят в диапазон от -34дБ до -44дБ.

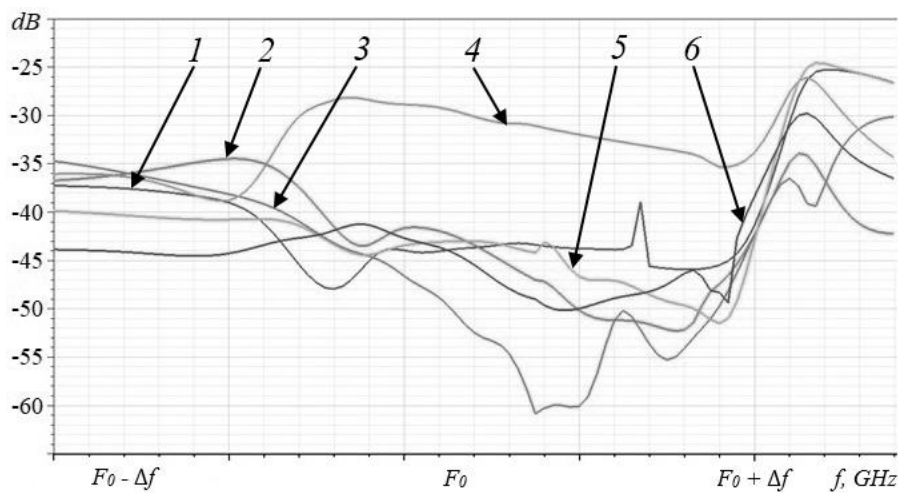


Рисунок 3 – Развязка каналов антенного полотна

Антенное полотно рассчитывалось полностью в рабочем диапазоне частот от $F_0 - \Delta f$ до $F_0 + \Delta f$. Приведем часть полученных результатов.

На рисунке 4 представлено распределение электрического тока на поверхности антенны при возбуждении V_1, V_2, V_3 и V_4 соответственно. Из рисунка 4 видно, что из – за поворота V_1, V_2, V_3 и V_4 на 45° относительно оси абсцисс, токи на поверхности антенны формируются таким образом, что другие антенные каналы ими практически не возбуждаются. Это и определяет хорошую развязку между каналами антенны.

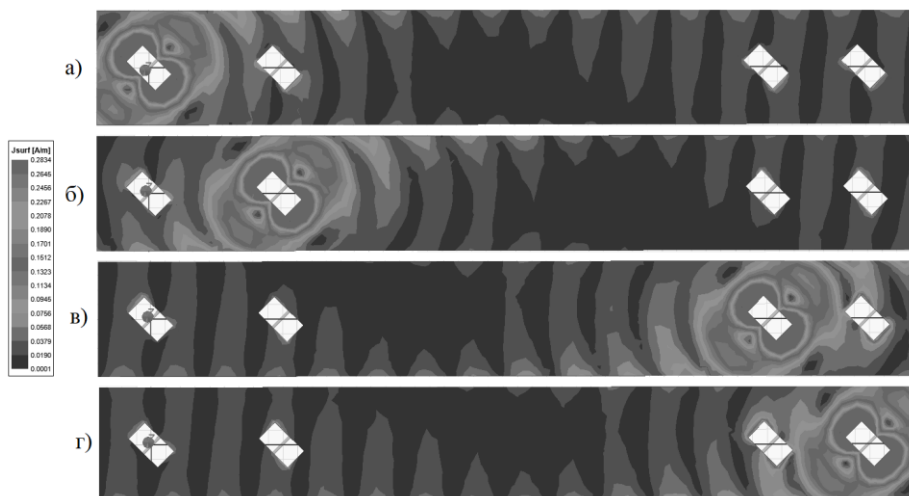


Рисунок 4 – Распределение электрического тока на поверхности антенны при возбуждении канала 1 (а), канала 2 (б), канала 3 (в), канала 4 (г)

Получены результаты модуля коэффициента отражения (КО) каждого канала [13] приемной антенны в частотном диапазоне от $F_0 - \Delta f$ до $F_0 + \Delta f$. На нижней частоте модуль КО для первого канала составил -10.5дБ, для второго канала составил -11.4дБ, для третьего -11.7дБ, для четвертой приемной антенны составил -12дБ. На средней частоте модуль КО для первого канала составил -13дБ, для второго канала приемной антенны составил -13дБ, для третьего -13дБ, для четвертого составил -13дБ. На высокой частоте модуль КО для первого канала приемной антенны составил -14.7дБ, для второго канала составил -14дБ, для третьего канала -12.5дБ, для четвертого составил -12дБ.

На рисунке 5 изображена 3D диаграмма направленности антенного полотна на частоте $F_0 - \Delta f$. Границы фигуры сглажены и не имеют резких перепадов, что соответствует требованиям. Максимальное значение КУ на этой частоте достигает 8.2дБ.

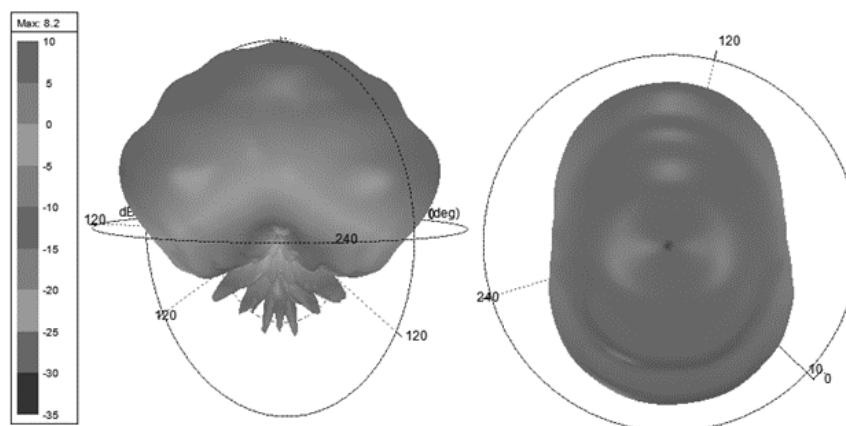


Рисунок 5 – 3D диаграмма направленности антенного полотна на нижней частоте рабочего диапазона

На частоте F_0 и $F_0 + \Delta f$ диаграмма направленности антенного полотна так же имеет сглаженные, ровные границы фигуры. Значение КУ на средней частоте равно 6.4дБ, а на высокой коэффициент усиления достигает значения 6.1дБ.

Заключение

3D численное электродинамическое моделирование полотна проводилось в программном комплексе ANSYS Electromagnetics Suite 2019 с минимальным шагом и дало следующие результаты: КСВ каналов приемных антенн полотна в частотном диапазоне $F_0 - \Delta f$ до $F_0 + \Delta f$ не превышает значения 2.4, коэффициент усиления в рабочем диапазоне частот каждой приемной антенны составил не менее 5дБ. Развязка каналов антенного полотна не меньше 20дБ, угол сканирования составляет не меньше $\pm 30^\circ$ при уменьшении коэффициента усиления на 3дБ.

На частоте $F_0 - \Delta f$ КСВ полотна находится в пределах 2. Зависимость коэффициента усиления при $\varphi = 0^\circ - 90^\circ$ находится в пределах от 35° до 55° . Неравномерность коэффициента усиления при $\theta = 0^\circ - 30^\circ$ имеет максимальное значение 1.9дБ. 3D диаграмма направленности сглажена и принимает значение 8.2дБ. Модуль коэффициента отражения на этой частоте находится в пределах от -10.5дБ до -12дБ.

На частоте F_0 КСВ полотна находится в пределах 1.9. Зависимость коэффициента усиления при $\varphi = 0^\circ - 90^\circ$ находится в пределах от 32° до 57° . Неравномерность коэффициента усиления при $\theta = 0^\circ - 30^\circ$ имеет максимальное значение 2.9дБ. 3D диаграмма направленности сглажена и равна 6.4дБ. Модуль коэффициента отражения на этой частоте находится в пределах -13дБ.

На частоте $F_0 + \Delta f$ КСВ четырех приемных антенн имеет максимальное значение 1.8. Зависимость коэффициента усиления при $\varphi = 0^\circ - 90^\circ$ находится в пределах от 31° до 53° . Неравномерность коэффициента усиления при $\theta = 0^\circ - 30^\circ$ принимает максимальное значение 1.2дБ. 3D диаграмма направленности равна 6дБ. Модуль коэффициента отражения находится в пределах от -12дБ до -14.7дБ.

В заключении можно отметить, что при небольшой геометрии полотна (с учетом всех элементов конструкции) полученные характеристики для всех четырех приемных антенн соответствуют требованиям. Такое антенное полотно можно использовать в составе цифровой антенной решетке.

Литература

1. Патент № 2766132 С1 Российская Федерация, МПК Н01Q 9/00. Полотно сверхширокополосной волноводной приемной антенной решетки линейной поляризации: № 2021110341: заявл. 14.04.2021: опубл. 08.02.2022 / Г. Г. Макарушкин, К. Н. Климов; заявитель Публичное акционерное

общество "Научно-производственное объединение "Алмаз" имени академика А.А. Расплетина". – EDN QOBQXK).

2. Мацаян, М. С. Построение сверхширокополосной цифровой антенной решетки / М. С. Мацаян, В. В. Перфильев, К. Н. Климов // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2019. – Т. 1. – С. 539-542. – EDN MSYZGZ.

3. Патент № 2765899 С1 Российская Федерация, МПК H01Q 9/00. Сверхширокополосный волноводный излучатель линейной поляризации: № 2021104467: заявл. 24.02.2021: опубл. 04.02.2022 / Г. Г. Макарушкин, К. Н. Климов; заявитель Публичное акционерное общество "Научно-производственное объединение "Алмаз" имени академика А.А. Расплетина". – EDN RECDSE.

4. Макарушкин, Г. Г. Электродинамическое моделирование приемной антенны линейной поляризации с рабочей полосой частот октава / Г. Г. Макарушкин, К. Н. Климов // Антенны. – 2021. – № 6(274). – С. 43-54. – DOI 10.18127/j03209601-202106-05. – EDN UYKKGGA.

5. Макарушкин, Г. Г. Электродинамическое моделирование приемной антенны линейной поляризации с рабочей полосой частот октава / Г. Г. Макарушкин, К. Н. Климов // Радиотехника. – 2021. – Т. 85. – № 3. – С. 117-127. – DOI 10.18127/j00338486-202103-12. – EDN GUUCSJ.

6. Годин, А. С. Численное электродинамическое исследование диаграмм направленностей внешней задачи для элемента Гюйгенса \square внешнего куба Гюйгенса / А. С. Годин, А. Б. Цай, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2015. – Т. 60, № 7. – С. 695. – DOI 10.7868/S0033849415070086. – EDN TXUIOP.

7. Годин, А. С. Численное электродинамическое исследование внутренней задачи для элемента Гюйгенса \square внутреннего куба Гюйгенса / А. С. Годин, А. Б. Цай, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2015. – Т. 60, № 4. – С. 352. – DOI 10.7868/S0033849415020059. – EDN TPWNEB.

8. Пшеничкин, А. С. Твердотельное передающее устройство вторичного радиолокатора с коррекцией фаз суммируемых сигналов / А. С. Пшеничкин, К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 1(29). – С. 83-91. – EDN PLRCVY.

9. Дризе, А. Д. Электродинамическое моделирование селекторов поляризации с помощью программного комплекса CST Studio Suite / А. Д. Дризе, К. Н. Климов // Антенны. – 2020. – № 6(268). – С. 41-47. – DOI 10.18127/j03209601-202006-05. – EDN EOJZVN.

10. Перфильев, В. В. Моделирование Е-плоскостного частотного мультиплексора методом геометрической оптики / В. В. Перфильев, К. Н. Климов, Д. О. Фирсов-Шибаяев // Антенны. – 2012. – № 8(183). – С. 57-64. – EDN PEZYBZ.

11. Патент на полезную модель № 169311 U1 Российская Федерация, МПК H01Q 9/00. Излучатель Климова: № 2016107995: заявл. 04.03.2016: опубл. 15.03.2017 / К. Н. Климов, А. С. Годин. – EDN UCNPZY.

12. Synthesis of structures of electric small-sized radiators using impedance matching materials for millimeter waves / K. N. Klimov, I. K. Epaneshnikova, A. M. Belevtsev [et al.] // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering: 10, Warsaw, 11 сентября 2017 года. – Warsaw, 2017. – P. 104390A. – DOI 10.1117/12.2299952. – EDN UXVTPI.

13. Климов К.Н., Гежа Д.С., Фирсов-Шибаяев Д.О. Практическое применение электродинамического моделирования. Германия. LAP Lambert Academic Publishing. 2012. С. 205.

ПОДАВЛЕНИЕ ПЕРЕОТРАЖЕНИЙ И ВНЕПОЛОСНЫХ КОЛЕБАНИЙ В МЕЖКАСКАДНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ НЕОТРАЖАЮЩИХ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ ЦЕПЕЙ СВЧ

Лошилов А.Г., Малютин Н.Д.*, Малютин Г.А., Арутюнян А.А., Чепко Т.А.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники*
+7 (913) 854-48-48, ndm@main.tusur.ru

Рассматривается применение неотражающих частотно-селективных цепей на основе связанных полосковых линий и RLC-элементов для подавления переотражений и внеполосных колебаний в межкаскадных соединениях. Получено снижение возвратных потерь в цепях каскадного соединения устройств от значения, близкого к 0 дБ, до –16 дБ, увеличение уровня подавления внеполосных частот пропускания от 0 дБ до –40 дБ. Показан пример вариантов каскадного соединения в виде традиционных фильтров и неотражающих фильтров.

Ключевые слова: неотражающие частотно-селективные цепи, связанные полосковые линии, RLC-цепи.

Suppression of reflections and out-of-band frequency oscillations in interstage connections using non-reflective frequency-selective microwave circuits. Loschilov A.G., Malyutin N.D.*, Malyutin G.A., Arutyunyan A.A., Chepko T.A.

The application of non-reflective frequency-selective circuits based on coupled striplines and RLC elements for suppression of reflections and out-of-band frequencies in inter-cascade connections is considered. A decrease in return losses in circuits of cascaded connection of devices from a value close to 0 dB to -16 dB, an increase in the level of suppression of out-of-band frequencies of transmission from 0 dB to -40 dB are obtained. An example of variants of cascade connection in the form of traditional filters and non-reflective filters is shown.

Keywords: non-reflective frequency-selective circuits, coupled striplines, RLC circuits.

Введение

В современных приемниках для подавления сигналов внеполосного смешивания широко используются фильтры. Однако отражения в полосе запираания обычного фильтра порождают большое количество внеполосных помеховых сигналов для внешнего и внутреннего интерфейса системы. Отраженные сигналы приводят к генерации дополнительных продуктов интермодуляции в нелинейных цепях (например, смесителе), что приводит к внутрисполосным и внеполосным помехам. Помехи являются более разрушительными, чем внеполосные помехи, поскольку могут перекрываться с сигналом ПЧ и ухудшать качество сигнала. Такое явление перекрытия сигналов ухудшает работу приемника [1, 2].

В качестве другого примера можно привести использование частотно-селективных фильтров между антенной и входным каскадом приемника (рис. 1).

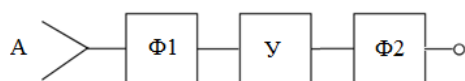


Рисунок 1 – Каскадное соединение антенны (А), фильтры (Ф1, Ф2) и усилителя (У)

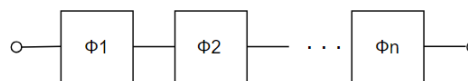


Рисунок 2 – Соединение нескольких каскадов фильтров, не согласованных друг с другом на внеполосных частотах

В схеме рис.1 каждое из применяемых устройств характеризуется коэффициентом возвратных потерь S_{11} . Антенна, являясь приемной, имеет коэффициент S_{22}^A , фильтры характеризуется коэффициентами S_{11}^ϕ , S_{22}^ϕ , для усилителя определяются S_{11}^y , S_{22}^y . Идеальный вариант полного согласования практически невозможен. Важная особенность узлов на рис.1 состоит в том, что А и Ф1, Ф2 – пассивные устройства, а У – активное устройство. Следовательно, отражения между каскадами будут сказываться на режиме работы нелинейных элементов усилителя. Наиболее неприятные эффекты при этом связаны с возникновением нелинейных искажений. Кроме этого, т.к. обычно входной усилитель – маломощный, его параметры ухудшаются от рассогласованности по входу и выходу. Если Ф1 и Ф2 представляют традиционные полосно-пропускающие фильтры, тогда сигналы на внеполосных частотах отражаются с максимальными коэффициентами возвратных потерь S_{11}^ϕ , $S_{22}^\phi \rightarrow 0$. Поэтому возникает потребность подавления отраженных волн на внеполосных частотах, поступающих со стороны антенны и проходящих далее по цепи. Другой пример несогласованных каскадов в виде традиционных фильтров приведён на рис. 2. При таком соединении возможно получить АЧХ с увеличенной крутизной, но при этом ухудшается согласование с внешними цепями. В этом случае достигают приемлемого коэффициента отражения включением на входе и выходе вентилей или циркуляторов, что не всегда возможно.

Постановка проблемы

Предлагается способ решения проблемы снижения переотражений и подавления паразитных полос пропускания в системах путем использования в составе каскадного соединения устройств неотражающих частотно-селективных цепей на основе связанных линий и RLC-цепей, позволяющих существенно снизить возвратные потери при отражении волн от устройств по типу “ловушки” отражённых волн между каскадами.

Схема неотражающих частотно-селективных цепей

Эквивалентная схема неотражающей частотно-селективной цепи в виде четырехполюсника, производного от многополюсника с входом (порт 1) и выходом (порт 4), показана на рис. 3 [3, 4]. Схема состоит из отрезка связанных линий I и II с распределенными параметрами, нагрузок в диагональных портах 2 и 3 из элементов с сосредоточенными параметрами, представляющих частотно-избирательную RLC-цепь. Рассмотрим работу схемы рис. 3 при исполнении RLC-цепи в виде последовательного L_0C_0 -колебательного контура, шунтированного сопротивлением R_0 .

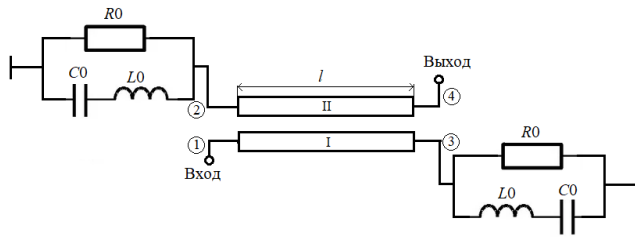


Рисунок 3 – Эквивалентная схема неотражающей частотно-селективной цепи на основе связанных полосковых линий и RLC-элементов

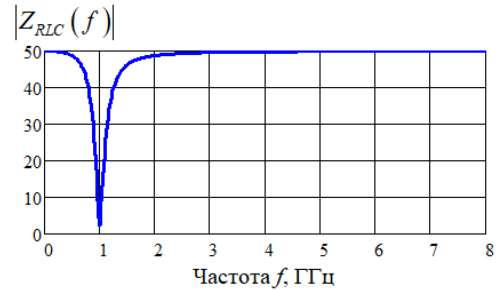


Рисунок 4 – Частотная зависимость модуля импеданса RLC-цепи $|Z_{RLC}(f)|$

Входное сопротивление Z_{RLC} RLC-цепи как двухполюсника на частоте резонанса последовательного колебательного контура $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_0 C_0}}$ стремится к нулю, а на частотных интервалах $f < f_0 - \Delta f$ и $f > f_0 + \Delta f$ асимптотически приближается к R_0 . Величина Δf зависит от R_0 и $Z_0 = \sqrt{L_0/C_0}$. Пример расчета частотной зависимости модуля импеданса $|Z_{RLC}(f)|$ RLC-цепи как двухполюсника показан на рис. 4. Значения параметров (см. рис. 3) были такие: $C_0 = 1,1$ пФ; $L_0 = 23$ нГн; $R_0 = 50$ Ом. частоте f_0 и в указанных интервалах в предельных случаях $f \rightarrow 0$ и $f \rightarrow \infty$ нагрузки Z_{RLC} в портах 2 и 3 (рис. 4) стремятся соответственно к $Z_{RLC} \xrightarrow{f=f_0} 0$ и $Z_{RLC} \xrightarrow{f \rightarrow 0, f \rightarrow \infty} R_0$. Эквивалентная схема устройства, показанная на рис. 3, упрощается и представляется так, как показано на рис. 5.

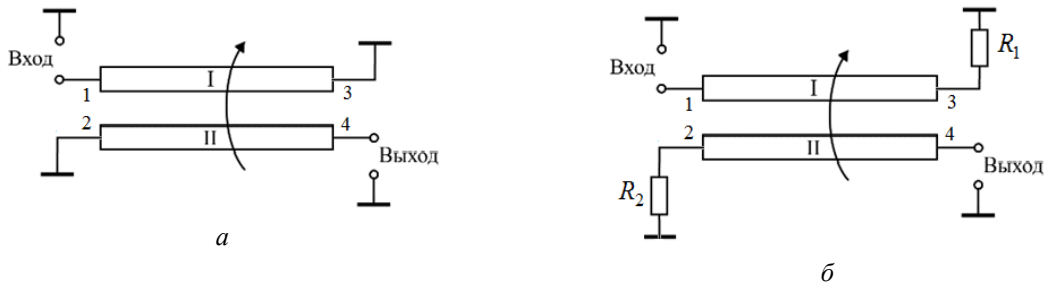


Рисунок 5 – Трансформация эквивалентной схемы неотражающей цепи (рис. 3) при предельных значениях модуля импеданса нагрузок Z_{RLC} в портах 2 и 3 СПЛ: (а) – при $f = f_0$; (б) – при $f \ll f_0 - \Delta f$ и $f \gg f_0 + \Delta f$

Были рассчитаны частотные зависимости коэффициентов матрицы рассеяния \mathbf{S} и электрические длины связанных линий при синфазном и противофазном возбуждении для эквивалентных схем (рис. 5) при следующих первичных и модальных параметрах связанных полосковых линий:

$$\text{матрица емкостей } \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 152,14 & -104,7 \\ -104,7 & 152,14 \end{bmatrix} \text{ пФ/м;}$$

$$\text{матрица индуктивностей } \mathbf{L} = \begin{bmatrix} 0,3992 & 0,2723 \\ 0,2723 & 0,3992 \end{bmatrix} \text{ мкГн/м;}$$

коэффициенты связи по емкости $k_C = 0,688$; коэффициенты связи по индуктивности $k_L = 0,682$; геометрическая длина отрезка СПЛ $l = 0,045$ мм.

Результаты расчета коэффициентов матрицы \mathbf{S} показаны на рис. 6.

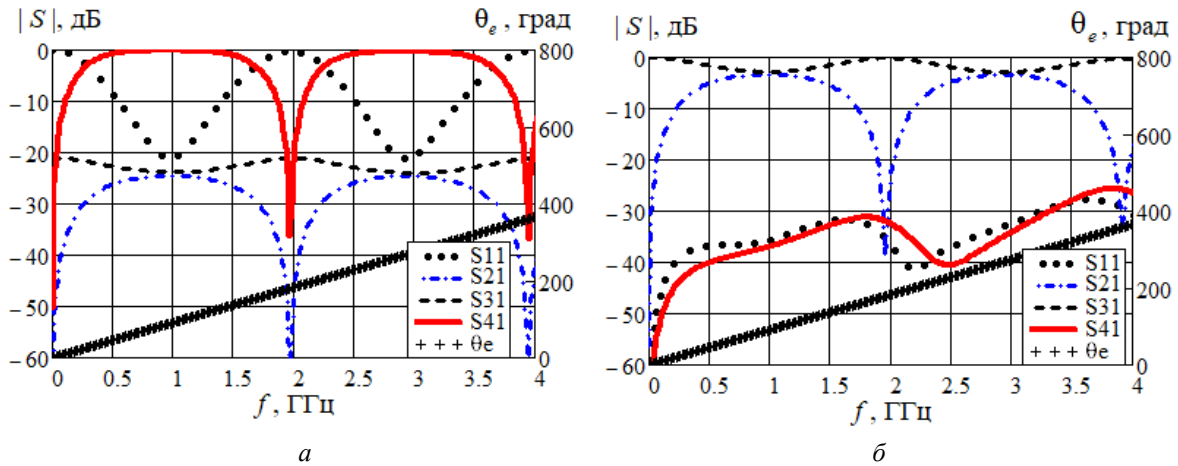


Рисунок 6 – Частотные зависимости коэффициентов матрицы рассеяния \mathbf{S} и электрической длины синфазного типа возбуждения θ_e для эквивалентных схем рис. 5а и 5б: S_{11} – коэффициент возвратных потерь от порта 1 (входа); S_{21} – коэффициент вносимых потерь при передаче из порта 1 в порт 2; S_{31} – коэффициент вносимых потерь при передаче из порта 1 в порт 3; S_{41} – коэффициент вносимых потерь при передаче из порта 1 в порт 4 (выход); θ_e – электрическая длина синфазного типа возбуждения, град

Частотная зависимость электрической длины противофазного типа возбуждения $\theta_o \approx \theta_e$, поэтому на графиках рис. 6 θ_o не показана. Из рис. 6а видно, что отрезок связанных линий при $|Z_{RLC}| \rightarrow 0$ представляет широкополосный полосно-пропускающий фильтр с периодически повторяющейся полосой пропускания с вносимым ослаблением сигнала $S_{41} \approx 0$ на центральной частоте и минимальными возвратными потерями S_{11} на частотах $f_0, 3f_0$ ГГц при электрической длине СПЛ 90, 270 град. Коэффициенты вносимых потерь S_{21} и $S_{31} < -20$ дБ. Предельный переход к схеме рис. 5б при $|Z_{RLC}| \rightarrow 50$ Ом, как показывает рис. 6б, приводит к уменьшению вносимого ослабления S_{41} во всем диапазоне частот. Мощность входного сигнала не поступает на выход устройства, а гасится на сопротивлениях R_0 нагрузок в портах 2 и 3, возвратные потери $S_{11} < -20$ дБ в полосе частот до 4 ГГц.

Поскольку в схеме (рис. 3) используются частотно-зависимые нагрузки в портах 2 и 3, трансформация частотных характеристик, проиллюстрированная на примере предельных переходов к схемам рис. 5, будет происходить с изменением частоты, но в показанных пределах. Результаты расчета частотных зависимостей модулей коэффициентов матрицы рассеяния \mathbf{S} и электрической длины синфазного и противофазного типов возбуждения θ_e, θ_o неотражающего устройства (рис. 3) [5] как восьмиполосника показаны на рис. 7. Частотная зависимость электрической длины противофазного типа возбуждения $\theta_o \approx \theta_e$, т.к. коэффициенты связи по емкости и индуктивности $k_C \approx k_L$. Анализ зависимостей коэффициентов матрицы \mathbf{S} от частоты f показывает, что на резонансной частоте f_0 RLC-цепи почти вся мощность сигнала с входного порта 1 поступает на выход в порт 4, а портах 2 и 3 она минимальна. На низких частотах $f < f_0$ и высоких частотах $f > f_0$ мощность «перекачивается» в порты 2 и 3 примерно в одинаковых долях, в результате чего формируется АЧХ по типу полосно-пропускающего фильтра. Поскольку RLC-цепь имеет единственную собственную (резонансную) частоту f_0 , рассматриваемое устройство также обнаруживает только одну полосу пропускания и вносимое ослабление сигнала с коэффициентом $S_{41} < -20$ дБ на частотах запираания. Замечательной особенностью рассматриваемого устройства является согласованность с внешними цепями с коэффициентом обратного рассеяния $S_{11} < -20$ дБ во всем диапазоне частот. При этом $S_{44} = S_{11}$, поскольку устройство симметрично.

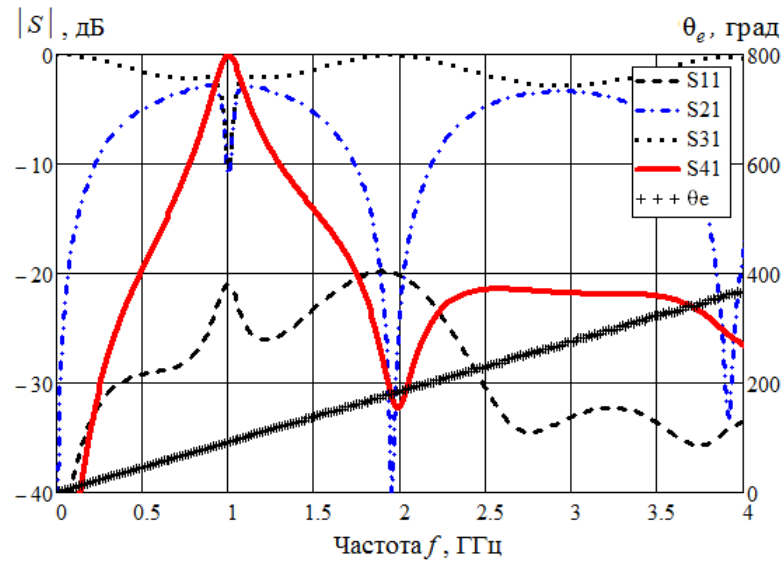


Рисунок 7 – Частотные зависимости модулей коэффициентов матрицы S рассеяния и электрической длины синфазного типа возбуждения θ_e неотражающей частотно-селективной цепи на основе связанных линий и RLC-элементов как восьмиполосника

Каскадное соединение отражающих и неотражающих устройств

Рассмотрим в качестве примера каскадирования полосно-пропускающих фильтров, построенных на основе связанных линий с полуволновым резонатором и неотражающей частотно-селективной цепи с характеристиками, показанными на рис. 7. Очевидно, что неотражающая цепь может выполнять функцию полосно-пропускающего фильтра с названными ранее особенностями. Назовем фильтр первого типа отражающим фильтром (ОФ). Фильтр второго типа со схемой по рис. 3 с характеристиками, показанными на рис. 7, определим как неотражающий фильтр (НФ). Были рассчитаны частотные характеристики ОФ со схемой и размерами полосок, показанных на рис.8.

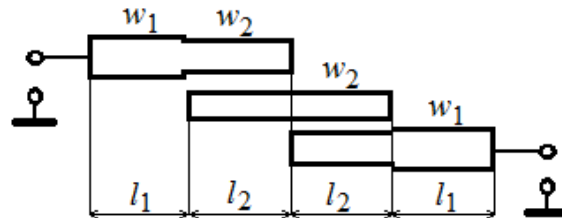


Рисунок 8 – Схема и обозначение размеров полосок ОФ

ОФ выполнен на подложке с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 9,85$. Размеры полосок: $w_1 = 1,3$ мм; $w_2 = 0,6$ мм; $l_1 = l_2 = 24,0$ мм. Погонная емкость полоски с шириной w_1 $CO1 = 214,5$ пФ/м, погонная индуктивность $LO1 = 0,3528$ мкГн/м. Частотные характеристики отрезка связанных полосковых линий с шириной полосок w_2 рассчитывались со следующими первичными параметрами в виде матриц емкостей и индуктивностей: матрица емкостей $C_2 = \begin{bmatrix} 92,93 & -27,88 \\ -27,88 & 92,93 \end{bmatrix}$ пФ/м;

матрица индуктивностей $L_2 = \begin{bmatrix} 1,314 & 0,394 \\ 0,394 & 1,314 \end{bmatrix}$ мкГн/м. На рис. 9 показана условная схема и частотные характеристики ОФ. Заметим, что в полосе прозрачности фильтр согласован, но вне ее наблюдается $S_{11} \rightarrow 0$, т.е. сигнал отражается почти полностью.

Каскадное соединение неотражающего и отражающего фильтра, условно показанное в верхней части рис.10, дало такие результаты:

1) Частотная зависимость коэффициента передачи (рис. 10) имеет вид, характерный для полосно-пропускающего фильтра с периодически повторяющейся полосой пропускания. Первая полоса пропускания на средней частоте f_0 характеризуется вносимым ослаблением $|S_{21}| \approx 0$. На второй полосе пропускания $|S_{21}| \approx -20$ дБ.

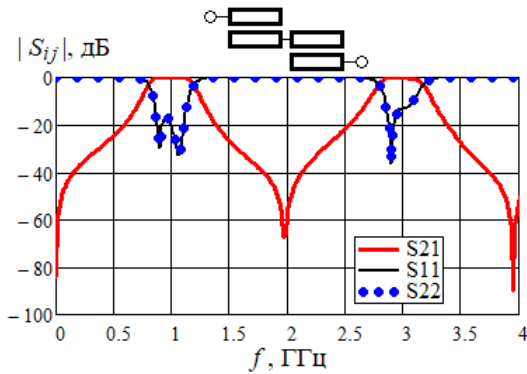


Рисунок 9 – Частотные характеристики полуволнового фильтра отражающего типа как четырехполосника

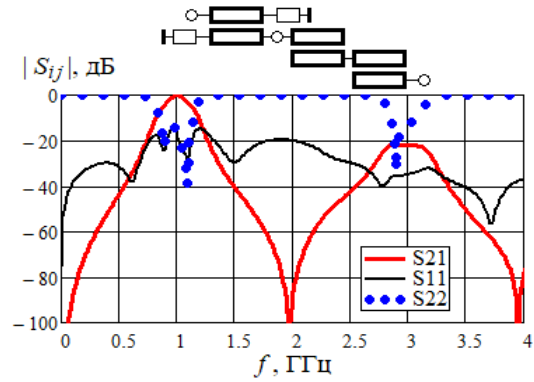


Рисунок 10 – Частотные характеристики каскадного соединения неотражающего фильтра и полуволнового отражающего фильтра

Сравнивая частотные характеристики ОФ (рис. 9) и неотражающей частотно-селективной цепи (рис. 7) заключаем, что увеличение вносимого ослабления на второй полосе пропускания на частоте 3 ГГц дает включение в цепь неотражающего фильтра.

2) Включение неотражающего фильтра приводит к существенному снижению возвратных потерь S_{11} от входа устройства (рис. 10, черная сплошная линия) до уровня $|S_{11}| \leq -16$ дБ во всем частотном диапазоне. При этом $|S_{22}|$ изменился по отношению к зависимости, показанной на рис. 9, незначительно, т.к. по-прежнему выход ОФ остается не согласованным на внеполосных частотах (рис. 9, рис. 10, синие точки).

Каскадное включение НФ на входе и выходе ОФ (рис. 11, схема сверху) позволила решить задачу уменьшения $|S_{22}|$ до уровня $|S_{11}| \leq -16$ дБ, что иллюстрируется совпадением графиков зависимостей $|S_{11}(f)|$ и $|S_{22}(f)|$. Одновременно с уменьшением $|S_{22}|$ возрос уровень подавления второй полосы пропускания до $|S_{21}| \approx -40$ дБ.

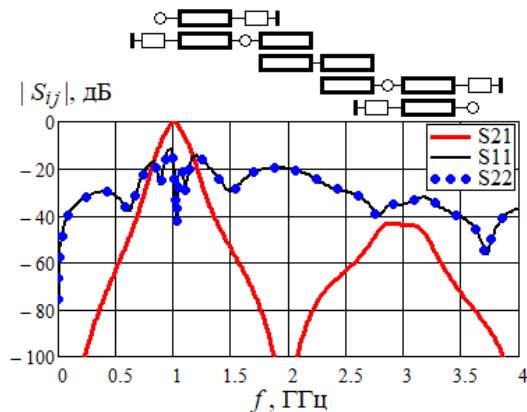


Рисунок 11 – Частотные характеристики каскадного соединения неотражающего фильтра на входе и выходе полуволнового фильтра

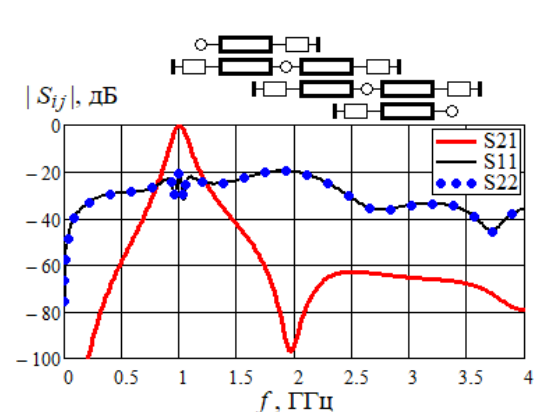


Рисунок 12 – Частотные характеристики каскадного соединения трех одинаковых неотражающих фильтров

Каскадное соединение трех неотражающих фильтров (рис. 12) позволяет получить предельно возможные характеристики: подавление второй полосы пропускания до -60 дБ и обеспечить обратное рассеяние не хуже -19 дБ во всей полосе частот.

Заключение

Таким образом, показан эффект от применения неотражающих частотно-селективных цепей на основе связанных полосковых линий и RLC-элементов, состоящий в подавлении переотражений и внеполосных частот в межкаскадных соединениях в различных сочетаниях следования неотражающих и отражающих устройств. Рассмотрены различные варианты каскадного соединения в виде традиционных фильтров и неотражающих фильтров. Неотражающие цепи (фильтры) могут служить в качестве «ловушки» отраженных волн на внеполосных частотах. Установлено важное свойство рассмотренной схемы неотражающих цепей – наличие единственной полосы пропускания, что является следствием одной

резонансной частоты примененной RLC-цепи на сосредоточенных элементах. Очевидно, что более сложная RLC-цепь может иметь несколько нулей и/или максимумов. В этом случае будет получена многомодальная характеристика коэффициента передачи [6]. Показано снижение возвратных потерь в цепях каскадного соединения устройств от значения, близкого к 0 дБ, до –16 дБ, подавление внеполосных частот пропускания от –20 до –40 дБ.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № FEWM-2023-0014 от 16.01.23.

Авторы признательны В. Позднякову за помощь в изготовлении макетов.

Литература

1. Qingxian Li, and Xun Luo. Three-Port Reflectionless Down-Converter for Wideband and Multichannel Receiver With Flat Gain, Enhanced EVM, and High Stability // IEEE Trans. Microw. Theory Techn., 2024, vol. 72, no. 7, pp. 4337-4340, July 2024. Doi: 10.1109/TMTT.2023.3334531.
2. Qing-Yuan Lu, Jianpeng Wang, Lei Zhu, Zhipeng Xia, and Wen Wu. Design of Reflectionless Bandpass Filters Based on Asymmetric Reciprocal Filtering Network // IEEE Trans. Microw. Theory Techn., 2024, vol. 72, no. 6, pp. 3662-3670, June 2024.
3. Патент № 2820780 RU. Малогабаритный неотражающий полосно-пропускающий фильтр / Чинь То Тхань, Малютин Н.Д. Заявка 2024103313, 10.02.2024. Оpubл. 10.06.2024. Бюл. № 16.
4. Патент № 2820791. Неотражающий полосно-пропускающий фильтр нечетных гармоник / Чинь То Тхань, Малютин Н.Д. Заявка 2024103312, 10.02.2024. Оpubл. 10.06.2024. Бюл. № 16.
5. Малютин Г.А. Алгоритм и программы анализа и синтеза устройств на основе распределенно-сосредоточенных цепей / Г. А. Малютин, Т. Т. Чинь // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 3. – С. 28–35.
6. Чинь Т. Т. Неотражающий полосковый полосно-пропускающий фильтр нечетных гармоник / Т. Т. Чинь // Ural Radio Engineering Journal. – 2023. – Т. 7, № 3. – С. 250–265. – DOI 10.15826/urej.2023.7.3.002.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ АФАР

Зенин В.А., Аверин И.Б.
ПАО «НПО «Алмаз»

В работе рассматривается методика расчета теплового режима приемопередающего модуля (ППМ) АФАР, в которой охлаждение организовано путем параллельной подачи воздуха через воздушные каналы в конструкции ППМ.

Основная сложность при создании АФАР с воздушным охлаждением связана с организацией достаточного расхода воздуха через каналы в АФАР для обеспечения нормального теплового режима тепловыделяющих элементов. Эта сложность вызвана большими гидравлическими сопротивлениями в каналах и ограниченными техническими характеристиками вентиляторов.

Методика позволяет подобрать вентилятор и определить геометрию воздушного канала модуля, при которой будет допустимый перегрев элементов в нагретой зоне. Так как перегрев определяется рассеиваемой тепловой мощностью элементов, геометрией радиатора и скоростью потока воздуха, то расчет состоит из аэродинамической и тепловой части.

Приведенная методика позволяет провести тепловой расчет модуля ППМ, а также дать оценку возможности применения воздушного охлаждения для АФАР.

Ключевые слова: АФАР, тепловой режим, приемо-передающий модуль, воздушное охлаждение

Methodology for evaluating the design of an air cooling systems for an active phased array antenna. Zenin V.A., Averin I.B., NPO Almaz

This paper presents a methodology for calculating the thermal regime of an active phased array antenna transceiver module, where cooling is implemented through the parallel air supply through air channels in the transceiver module construction.

The main challenge in creating air-cooled active phased array antenna is organizing sufficient air flow through the channels in the active phased array antenna to ensure normal thermal conditions for heat-generating elements. This difficulty arises from high hydraulic resistance in the channels and limited technical characteristics of the fans.

The methodology allows selecting the fan and determining the geometry of the module's air channel, at which the permissible overheating of the elements in the heated zone will be achieved. Since overheating is

determined by the dissipated thermal power of the elements, radiator geometry, and air flow velocity, the calculation consists of aerodynamic and thermal parts.

The presented methodology allows for thermal calculation of the transceiver module and assessment of the possibility of using air cooling for active phased array antenna.

Keywords: active phased array antenna, thermal regime, transceiver module, air cooling

Задачей системы охлаждения активной фазированной антенной решетки (АФАР) является отвод тепловой энергии от тепловыделяющих элементов и передача ее окружающей среде.

Основная сложность при создании АФАР с воздушным охлаждением связана с организацией достаточного расхода воздуха через каналы в АФАР для обеспечения нормального теплового режима тепловыделяющих элементов. Эта сложность вызвана большими гидравлическими сопротивлениями в каналах и ограниченным набором вентиляторов.

Настоящий метод распространяется на расчет теплового режима приемопередающего модуля (ППМ) АФАР, в которой охлаждение организовано путем параллельной подачи воздуха через воздушные каналы в конструкции ППМ. Каналы образованы радиаторами, которые являются частью конструкции ППМ. Тепловыделяющие элементы размещаются на основании радиатора, внутри корпуса ППМ.

Схематическое изображение теплогидравлической модели АФАР показано на рисунке 1. На радиаторе, который является частью корпуса ППМ 2, размещаются тепловыделяющие элементы 1. Для защиты тепловыделяющих элементов от внешних воздействий предусмотрена герметичная крышка (на рисунке не показана). Набор из ППМ 2 образует блок подрешетки (БП) 3 с параллельными воздушными каналами, которые образованы ребрами радиаторов. Несколько БП, расположенных один над другим образуют столбец АФАР 4. Из столбцов 4, расположенных в ряд формируется АФАР. Поток воздуха 5 обеспечивается вентиляторами.

На рисунке 2 показана схема установки вентиляторов на АФАР. Вентиляторы могут быть приточными, вытяжными или приточно-вытяжными. При необходимости, устанавливается вентиляторная сборка из нескольких последовательных вентиляторов 2. Возможна организация потока воздуха от одного или группы вентиляторов через один или более одного столбца АФАР. Поток воздуха обеспечивает передачу тепла от нагретой зоны в атмосферу.

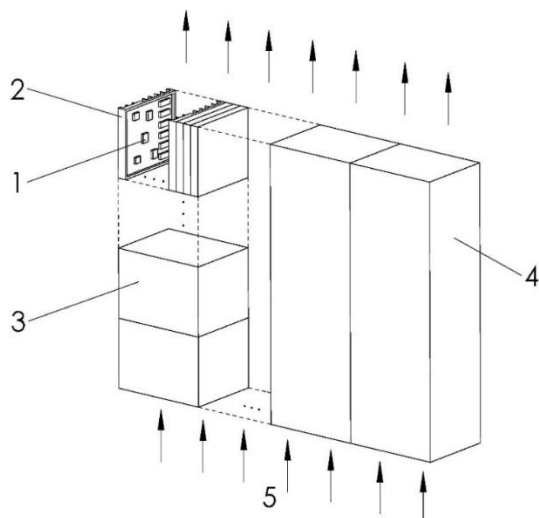


Рисунок 1 – Теплогидравлическая модель АФАР
1 – нагретая зона; 2 – ППМ; 3 – БП; 4 – столбец АФАР;
5 – поток воздуха

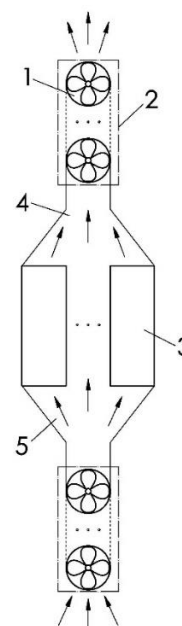


Рисунок 2 – Схема установки вентиляторов
1 – вентилятор; 2 – вентиляторная сборка;
3 – столбец АФАР;
4 – конфузор; 5 – диффузор

К основным задачам теплогидравлического расчета ППМ относится выбор вентилятора и определение геометрии воздушного канала модуля, при которой будет допустимый перегрев элементов в нагретой зоне.

Перегрев элементов, в основном, определяется рассеиваемой тепловой мощностью, геометрией радиатора и скоростью потока воздуха, поэтому расчет состоит из аэродинамической и тепловой части.

Аэродинамический расчет

Движение потока воздуха по каналу сопровождается потерями механической энергии. Эти потери обусловлены силами трения, образованием вихрей в местах изменения формы канала (местные сопротивления), преодолением подъемных сил (явление самотяги) и неравномерностью движения воздуха вследствие изменения плотности [1]. Наибольшие потери энергии обусловлены силами трения $\Delta H_{тр}$ и местными сопротивлениями $\Delta H_{м}$. К местным сопротивлениям относятся сопротивления на входе $\Delta H_{вх}$ и выходе $\Delta H_{вых}$ из канала столбца, а также сопротивления, вызванные зазорами между БП $\Delta H_{з}$. Тогда аэродинамическая характеристика столбца АФАР записывается в виде [2, 3]:

$$\Delta H_{ст}(Q) = \Delta H_{тр}(Q) + \Delta H_{вх}(Q) + \Delta H_{вых}(Q) + \Delta H_{з}(Q); \quad (1)$$

Расход воздуха через канал $Q_{ст}$ определяется по рабочей точке, которая находится пересечением аэродинамических характеристик столбца АФАР $\Delta H_{ст}(Q)$ и вентилятора $\Delta H_{вен}(Q)$ (рисунок 3).

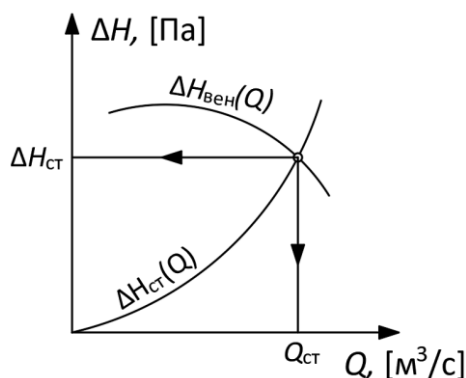


Рисунок 3 – Определение расхода воздуха в канале

Вентилятор следует подбирать таким образом, чтобы рабочая точка лежала в области рабочего участка вентилятора. В этом случае вентилятор будет работать с максимальной эффективностью. Если на аэродинамической характеристике вентилятора не обозначен рабочий участок, то следует выбирать режим на падающей стороне кривой давления, т.е. в правой части кривой КПД от максимального значения [4].

Тепловой расчет

В тепловой части расчета определяется перегрев элементов в нагретой зоне, которые находятся в последнем по потоку ППМ. Элементы этого корпуса наиболее нагреты, так как охлаждаются нагретым воздухом от элементов предыдущих ППМ.

Перегрев элемента можно представить в виде суммы трех составляющих – перегрева воздуха в канале ППМ $\Delta t_{возд}$, перегрева радиатора $\Delta t_{рад}$ и перегрева в зоне контакта радиатор – элемент $\Delta t_{конт}$:

$$\Delta t_{эл} = \Delta t_{возд} + \Delta t_{рад} + \Delta t_{конт} \quad (2)$$

Определение перегрева воздуха в канале и перегрева в зоне контакта не вызывает трудностей, однако определение перегрева радиатора $\Delta t_{рад}$ является сложной задачей, так как перегрев зависит от размеров, расположения и мощности тепловыделяющих элементов, геометрии и материала радиатора, скорости воздуха. Поэтому, в случае если расположение и размеры тепловыделяющих элементов не учитывать, т.е. суммарная площадь основания тепловыделяющих элементов совпадает с площадью основания радиатора ППМ расчет перегрева радиатора проводится с помощью приближенного метода, представленного в [5]. Для определения перегрева радиатора с учетом размеров тепловыделяющих элементов, их расположения на радиаторе ППМ и взаимного влияния элементов друг на друга, тепловой расчет целесообразно проводить с помощью программного обеспечения САПР, например, SolidWorks Flow Simulation.

На основании изложенного предложен алгоритм расчета ППМ (рисунок 4), который ведется итерационным методом, так как температура нагрева воздуха в канале $\Delta t_{возд}$, число Рейнольдса и вентилятор определяются в процессе расчета.

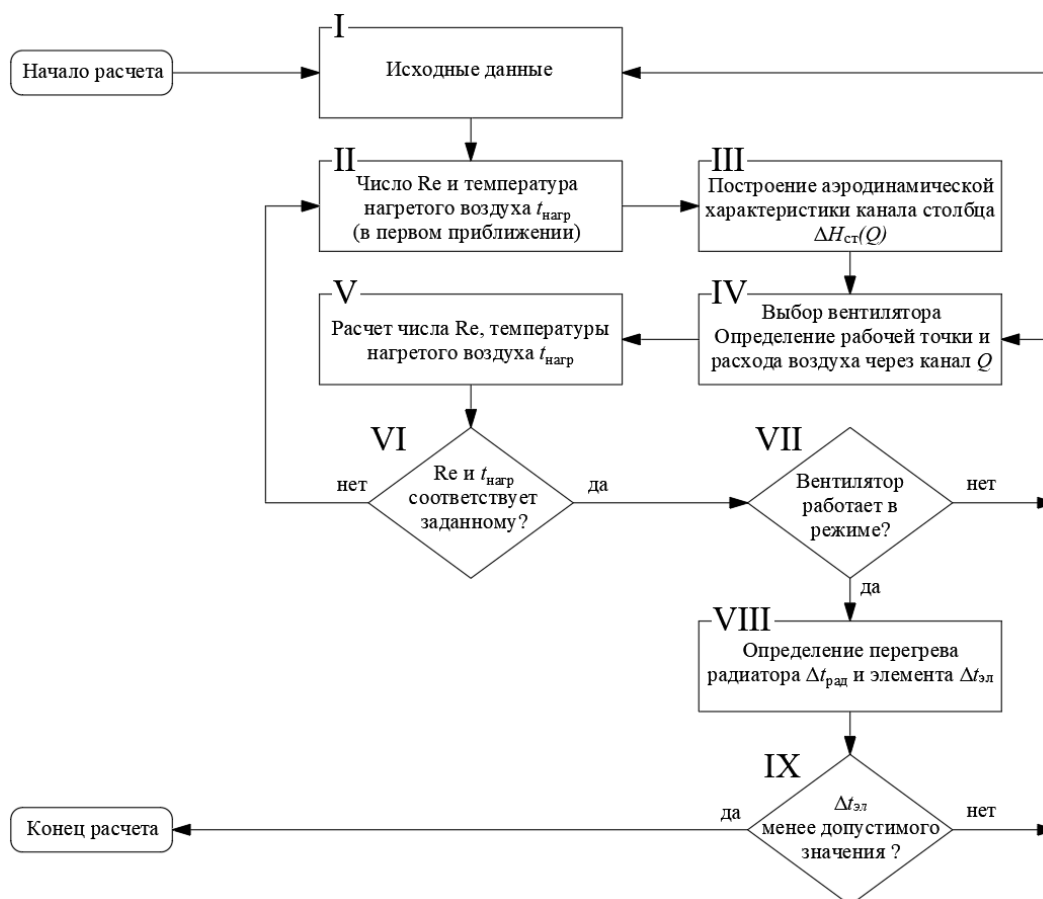


Рисунок 4 – Алгоритм расчета перегрева элементов в нагретой зоне ППМ

- I. В исходных данных задаются следующие параметры:
 - геометрия ППМ и его воздушного канала;
 - геометрия и мощность тепловыделения элементов в нагретой зоне;
 - число ППМ в БП;
 - число БП в столбце АФАР;
 - число столбцов АФАР продуваемых одним или группой вентиляторов;
 - температура среды;
 - допустимый перегрев элементов в нагретой зоне.
- II. В первом приближении задается температура воздуха на выходе из канала и число Re.
- III. Аэродинамическая характеристика канала столбца строится в соответствии с (1).
- IV. По рабочей точке, которая находится пересечением аэродинамической характеристики вентилятора и характеристики столбца, определяется расход воздуха через воздушный канал (Рисунок 3).
- V. Рассчитывается число Re и температура нагретого воздуха на выходе из канала.
- VI. Проводится проверка соответствия числа Re и температуры воздуха заданным значениям на шаге II.
- VII. Проводится проверка принадлежности рабочей точки области рабочего участка вентилятора. Если рабочая точка не лежит в области рабочего участка кривой вентилятора следует:
 - выбрать другой вентилятор;
 - рассмотреть работу вентилятора на два и более столбцов АФАР;
 - применить группу из последовательно установленных вентиляторов;
 - применить группу из параллельно установленных вентиляторов;
 - изменить геометрию воздушного канала.
- VIII. Рассчитывается перегрев радиатора и элемента в соответствии.
- IX. В случае перегрева элемента более допустимого следует:
 - выбрать другой вентилятор;
 - применить группу из последовательно установленных вентиляторов;
 - изменить геометрию воздушного канала.

Для исследования геометрии АФАР и условий охлаждения, представленная методика была упрощена до аналитических зависимостей, при этом были приняты следующие допущения:

- воздушный канал размещается только под ППК;
- в ППМ излучают тепловую мощность только ППК;
- параметры воздуха принимаются при температуре 50 °С и не зависят от температуры;
- гидравлическое сопротивление зазоров между БП не учитываются;
- режим течения в канале турбулентный (число $Re > 7000$).

Для продувки столбца АФАР требуются вентиляторы способные создать большой напор с максимальной производительностью. В примере рассматриваются вентиляторы типа 250ВО-18-2Ц и 380ВО-18-2А. На рисунке 5 показаны гидравлические характеристики рабочих участков выбранных вентиляторов.

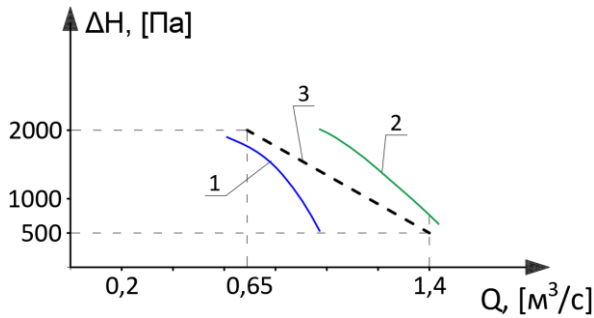


Рисунок 5 – Гидравлические характеристики вентиляторов
1 - 250ВО-18-2Ц; 2 - 380ВО-18-2А;
3 - условная прямая

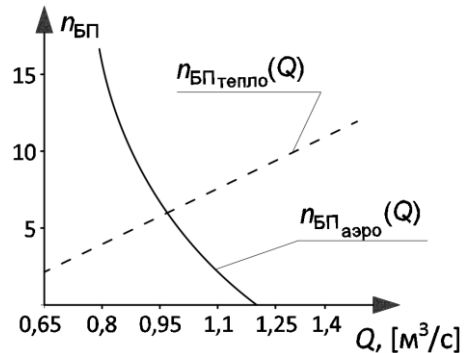


Рисунок 6 – Графическое определение максимального числа БП в столбце

Для определения возможности продувки столбца условно показан отрезок 3, уравнение отрезка:

$$\Delta H_3 = 100 \cdot n_{\text{вент}} \cdot (33 - 22 \cdot Q) \quad (3)$$

где $n_{\text{вент}}$ – число последовательно установленных вентиляторов.

Вентилятор (250ВО-18-2Ц или 380ВО-18-2А) сможет продуть столбец при условии, что гидравлическая характеристика столбца пересечет отрезок 3 в заданном диапазоне расхода, т.е.:

$$\Delta H_3 = \Delta H_{\text{ст}}(Q), \text{ при } Q = 0,65 \dots 1,4 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4)$$

Из уравнения (4), выражается гидравлическая зависимость числа блоков подрешетки от расхода воздуха в канале:

$$n_{\text{БП}_{\text{аэро}}}(Q) \quad (5)$$

Перегрев контакта радиатор-элемент $\Delta t_{\text{конг}}$ не существенный и им можно пренебречь. Перегрев радиатора $\Delta t_{\text{рад}}$ определяется только конвективным теплообменом между потоком воздуха и стенками канала, в первом приближении, можно воспользоваться зависимостью [5]:

$$\Delta t_{\text{рад}} = \frac{N_{\text{эл}}}{\alpha \cdot S_{\text{эл}}} \quad (6)$$

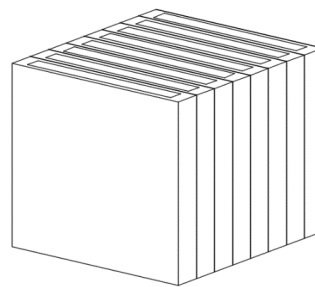
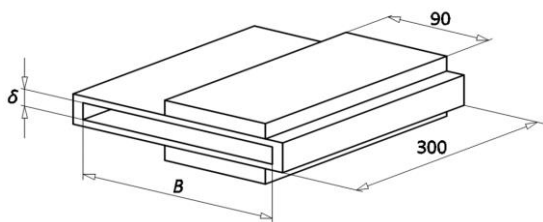
где $N_{\text{эл}}$ – мощность тепловыделения одного элемента в нагретой зоне [Вт]; α – коэффициент теплообмена между поверхностью воздушного канала и потоком воздуха [Вт/м²/°С]; $S_{\text{эл}}$ – площадь основания элемента [м²].

После подстановки (6) в (2) и с учетом допущений, выражается температурная зависимость числа блоков подрешетки от расхода воздуха в канале:

$$n_{\text{БП}_{\text{тепло}}}(Q) \quad (7)$$

Решая систему уравнений (5) и (7) определяется число блоков подрешетки в столбце АФАР, тепловой режим которого может быть обеспечен воздушным охлаждением. Графическое решение системы уравнений показано на рисунке 6.

Приведенные выше соотношения дают возможность провести анализ влияния параметров конструкции на тепловой режим модуля. В примере рассматривается антенна, которая состоит из БП с 8-ю модулями с тепловыделением каждого по 200 Вт, допустимый перегрев активного элемента 30 °С, столбец продувается группой из 4-х последовательно установленных вентиляторов. Высота воздушного канала δ варьируется от 4 до 12 мм, ширина канала B варьируется от 150 до 300 мм, длина воздушного канала модуля 300 мм. На рисунке 7 показаны эскизы модуля и БП.



а) Модуль с установленным с двух сторон от воздушного канала активными элементами

б) БП с 8-ю модулями

Рисунок 7 – Эскизы модуля и БП

На рисунке 8 показаны зависимости максимально-возможного количества БП в столбце от высоты канала δ , при различной его ширине B и разном числе ребер $n_{\text{реб}}$ в канале. Пунктиром выделены области, где показано число столбцов, которые продуваются одной группой вентиляторов.

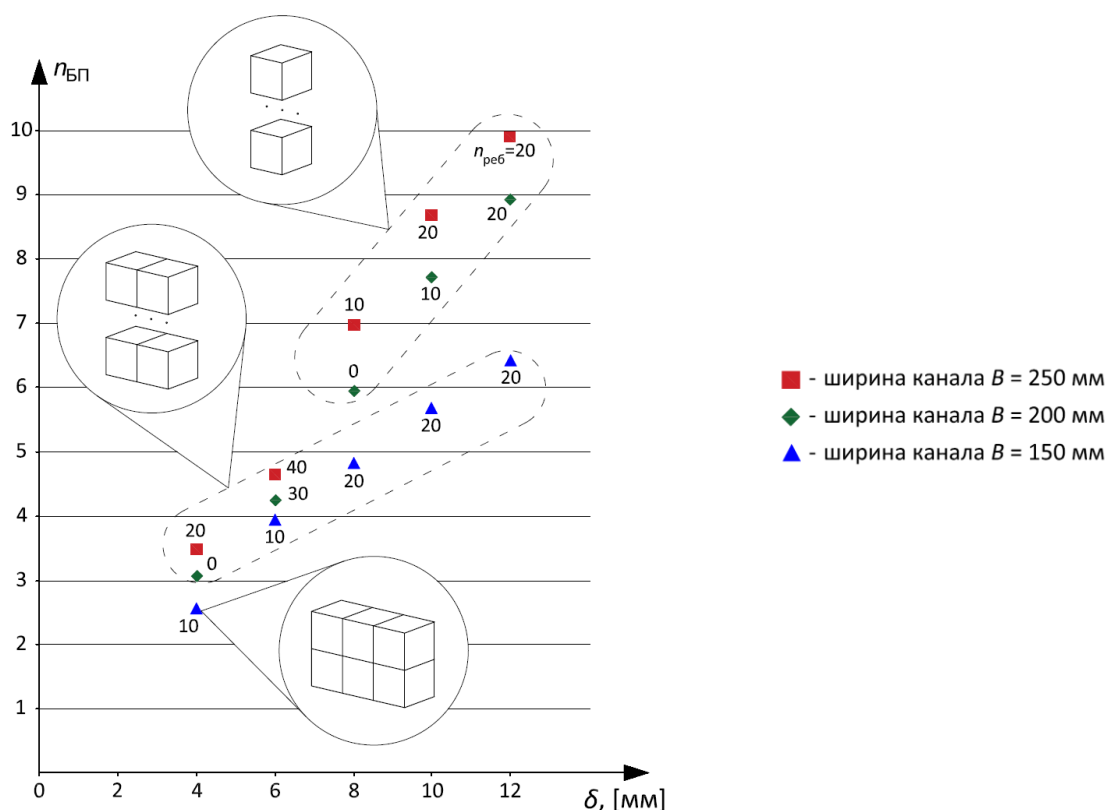


Рисунок 8 – Максимальное количество БП в столбце в зависимости от высоты канала δ , при раз личной ширине канала и разном числе ребер $n_{\text{реб}}$ в канале.

Видно, что для канала высотой 4 мм невозможно сформировать столбец из более чем 3-х БП. Очевидно, что для того чтобы отводить тепловую мощность с большего числа блоков в столбце следует увеличивать высоту канала.

В работе показано, что тепловой режим АФАР зависит от большого количества параметров, и получить аналитические зависимости в общем случае не представляется возможным. Приведенный метод позволяет провести тепловой расчет модуля ППМ, а также в первом приближении оценить возможность применения воздушного охлаждения для АФАР.

Литература

1. Дульнев Г.Н., Тарновский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. – Л.: Энергия, 1971. – 248 с.
2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М., Госэнергоиздат, 1960.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/Под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.: ил.

4. Вахвахов Г.Г. Работа вентиляторов в сети. М., Стройиздат, 1975. 101 с.
5. Ройзен Л.И., Дулькин И.Н. Тепловой расчет оребренных поверхностей. Под ред. В.Г. Фастовского. М., «Энергия», 1977. 256 с. с ил.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И ТЕЛЕМЕТРИИ БОЛЬШОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ

Ушаков В. М, Иванов И. А.
НИУ ВШЭ
+7 (925) 466-72-73, vmushakov@edu.hse.ru

В данной статье представлен анализ существующих методологий, а также расчет дальности связи для системы дистанционного управления и телеметрии, предназначенной для операций на большом радиусе действия, что актуально для управления беспилотными аппаратами, дистанционного мониторинга и управления другими беспроводными объектами. Основная цель исследования заключается в выборе эффективной методологии, которая способна обеспечить расчет теоретической дальности связи близкой к практическим значениям, на расстояниях в несколько десятков километров с минимальными задержками и высокой для таких дистанций скоростью передачи данных. Для достижения поставленной цели был проведен статистический анализ разных радиодиапазонов и выбран наиболее оптимальный по соотношению дальности и скорости передачи. Предложенные решения и выводы могут быть использованы при разработке систем управления для беспилотных авиационных, наземных и морских средств, а также для мониторинга и управления объектами инфраструктуры дистанционно.

Ключевые слова: телеметрия, большой радиус действия, беспилотные аппараты, моделирование радиопередачи, радиочастоты.

Development of a long-range remote control and telemetry system. Ushakov. V. M., Ivanov. I. A. NRU HSE

This paper presents an analysis of existing methodologies as well as the calculation of communication range for a remote control and telemetry system designed for long range operations, which is relevant for controlling unmanned vehicles, remote monitoring and controlling other wireless objects. The main objective of the study is to select an effective methodology that is able to provide the calculation of theoretical communication range close to practical values, at distances of several tens of kilometers with minimal delays and high data rate for such distances. To achieve this goal, a statistical analysis of different radio ranges was carried out and the most optimal one was selected in terms of the ratio of range and transmission speed. The proposed solutions and conclusions can be used in the development of control systems for unmanned aircraft, land and marine vehicles, as well as for monitoring and control of infrastructure objects remotely.

Keywords: remote control, telemetry, long range, unmanned vehicles, radio transmission modelling, radio frequencies.

Введение

Радиосвязь является ключевым элементом многих систем связи, от коммерческих мобильных сетей до критически важных военных и спасательных операций. Одним из основных параметров, определяющих эффективность радиосистемы, является дальность связи, которая зависит от множества факторов. Понимание и правильный расчет этих факторов позволяет проектировать и использовать радиосистемы наиболее эффективно.

Основные параметры и факторы:

1. **Мощность передатчика (Pt):** определяет количество энергии, излучаемой антенной в виде радиоволн. Высокая мощность способствует увеличению дальности, но может быть ограничена нормативными требованиями.
2. **Чувствительность приемника (Pr):** минимальная мощность сигнала, при которой приемник способен обеспечить надежный прием. Зависит от качества приемника и внешних помех.
3. **Характеристики антенны:** как передающей, так и приемной. Включают в себя коэффициент усиления, направленность, высоту установки. Усиление антенны способствует увеличению эффективности передачи и приема сигнала.
4. **Условия распространения:** включают влияние атмосферы, местности, препятствий и других факторов на распространение радиоволн. Различают прямую видимость, рефлексию, дифракцию и тропосферное распространение.

Основы распространения радиоволн

Закон обратных квадратов

Закон обратных квадратов — это фундаментальный принцип физики, согласно которому интенсивность (мощность) радиоволны уменьшается пропорционально квадрату расстояния от источника. Это означает, что, если расстояние между передатчиком и приемником увеличить вдвое, мощность сигнала, достигающего приемника, уменьшится в четыре раза. Этот принцип лежит в основе многих расчетов дальности радиосвязи и помогает понять, почему увеличение расстояния между устройствами так сильно влияет на качество связи.

Зоны Френеля

Зоны Френеля представляют собой эллиптические области вокруг линии прямой видимости между передатчиком и приемником. Эти зоны определяют области, в которых радиоволны могут интерферировать друг с другом, усиливаясь или ослабляясь. Наиболее критичной является первая зона Френеля, поскольку максимальное усиление сигнала происходит, когда эта зона свободна от препятствий. При проектировании антенных систем особое внимание уделяется очистке первой зоны Френеля от препятствий для минимизации потерь сигнала и увеличения дальности связи.

Дифракция

Дифракция описывает способность радиоволн огибать препятствия на своем пути, изменяя направление распространения от прямолинейного. Этот процесс играет важную роль в условиях, когда прямая линия видимости между передатчиком и приемником блокируется препятствиями. Дифракция позволяет сигналам достигать приемников, расположенных за препятствиями, хотя это сопровождается уменьшением мощности сигнала. Степень дифракции зависит от размера и формы препятствия, частоты радиоволны.

Рефракция

Рефракция радиоволн — это изменение направления их распространения при переходе через границу раздела сред с различными показателями преломления. Этот процесс имеет особое значение при прохождении радиоволн через атмосферу Земли, которая не является однородной и характеризуется изменяющимся показателем преломления на разных высотах. Рефракция особенно заметна на высоких частотах и может как увеличивать, так и уменьшать эффективную дальность связи. Например, в условиях сильного температурного инверсии радиоволны могут "прогибаться" к земле, что увеличивает дальность связи за счет "продолжения" прямой видимости.

Отражения

Отражение радиоволн происходит, когда они встречаются с поверхностью, достаточно большой и/или достаточно гладкой, чтобы отразить часть энергии обратно в пространство. Это может происходить от земной поверхности, зданий, гор и других крупных объектов. Отраженные волны могут как усиливать, так и ослаблять принимаемый сигнал в зависимости от фазы, с которой они интерферируют с прямым сигналом. В некоторых случаях, как при использовании технологии многолучевой передачи в мобильной связи, отраженные сигналы способствуют улучшению качества связи и увеличению дальности. Однако в других случаях отражения могут вызывать эффекты мультиплексирования, существенно искажая сигнал и ухудшая качество связи.

Факторы, влияющие на дальность связи

Мощность передатчика и чувствительность приемника

Мощность передатчика (P_t) напрямую влияет на то, насколько далеко может передаваться сигнал до того момента, как его мощность упадет до уровня, ниже которого приемник не может его обработать. Увеличение мощности передатчика является одним из самых простых способов увеличения дальности связи, но это также ведет к увеличению энергопотребления и потенциально может привести к большему количеству помех для других устройств.

Чувствительность приемника (S_r) определяет минимальную мощность сигнала, которую приемник способен обнаружить и корректно обработать. Приемники с высокой чувствительностью способны обнаруживать слабые сигналы, что позволяет увеличить дальность связи без необходимости повышения мощности передатчика.

Высота антенн

Высота антенн влияет на дальность связи через увеличение зоны прямой видимости между передатчиком и приемником, также стоит добавить, что диаграмма направленности и, соответственно, коэффициент усиления антенны также могут зависеть от высоты её подвеса над землёй. При размещении антенн на большей высоте уменьшается влияние препятствий на земле, таких как здания или рельеф местности, позволяя сигналу распространяться дальше без затухания. Это особенно важно для высокочастотных радиоволн, которые менее способны огибать препятствия по сравнению с низкочастотными волнами.

Частотные характеристики

Частота радиоволн имеет решающее значение для определения дальности связи. Низкочастотные волны (например, диапазон длинных волн) способны распространяться на большие расстояния и проникать через препятствия лучше, чем высокочастотные волны (например, диапазон коротких волн или УВЧ). Однако низкочастотные волны требуют для передачи более крупных антенн, что может быть не всегда удобно или экономически целесообразно.

Высокочастотные волны, хотя и имеют меньшую дальность распространения и больше подвержены влиянию атмосферы и препятствий, обеспечивают более широкую полосу пропускания и качество связи на коротких расстояниях. Это делает их идеальными для городских сред и приложений, требующих высокой скорости передачи данных.

Влияние условий окружающей среды

Условия окружающей среды, такие как атмосферные явления (дождь, снег, туман) и топографические особенности местности (горы, долины), также играют важную роль в дальности связи. Атмосферные условия могут вызывать дополнительное затухание сигнала, особенно на высоких частотах, в то время как физические препятствия могут блокировать или отражать радиоволны, ограничивая дальность связи.

Методики расчета

Расчет дальности связи обычно основывается на моделях распространения радиоволн, учитывающих вышеупомянутые параметры и условия. Существуют различные модели

Модель Фрииса

Модель, предполагающая идеальные условия распространения без препятствий. Она используется как базовый эталон и выражается формулой:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

где:

P_r - мощность, принимаемая приемником,

P_t - мощность, излучаемая передатчиком,

G_t и G_r - коэффициенты усиления антенн передатчика и приемника соответственно,

λ - длина волны радиосигнала

d - расстояние между антеннами

Модель Фрииса полезна для базовых оценок дальности связи, но ее применение ограничено из-за игнорирования факторов окружающей среды.

Модели с учетом многослойности атмосферы

Эти модели учитывают сложные влияния атмосферы на распространение радиосигналов, включая рефракцию, дифракцию, поглощение и рассеяние. Одной из наиболее известных является модель ITU-R P.530, которая предлагает методы для оценки затухания сигнала на различных частотах, учитывая атмосферные условия (влажность, температуру, давление) и характеристики трассы (высота антенн, тип местности). Эти модели особенно важны для точного планирования дальности связи на большие расстояния и на высоких частотах, где влияние атмосферы становится значительным.

Статистические модели

Статистические модели, такие как модель Окамура-Хата (Okumura-Hata) и модель COST 231, основаны на обширных эмпирических данных о распространении радиоволн в различных условиях. Эти модели позволяют оценить дальность связи, учитывая специфику местности (городская, пригородная, сельская), высоту антенн и рабочую частоту.

Модель Hata-Okumura предоставляет формулы для расчета затухания сигнала в различных типах местности и была разработана на основе множества измерений. Модель COST 231 является расширением модели Hata-Okumura и адаптирована для использования в частотном диапазоне до 2 ГГц, что делает ее особенно полезной для высокоскоростных сетей, работающих выше субгигагерцового диапазона.

Эти модели обладают высокой степенью точности в прогнозировании дальности связи в условиях конкретной местности, но их применение требует точных данных о характеристиках местности и условиях распространения.

Пример расчета

Расчета модели Фрииса

Приведу пример расчета модели Фрииса, возьмем нелицензируемую частоту 868 МГц.

1. Предположим, что у нас есть следующие исходные данные:

- Мощность передатчика $P_t = 1$ Вт (или 1000 мВт).
- Коэффициент усиления антенны передатчика $G_t = 2$
- Коэффициент усиления антенны приемника $G_r = 2$

- Чувствительность приемника $P_r = 10^{-12}$ Вт
 - Частота сигнала 2.4 ГГц
2. Вычислить длину волны λ для частоты 2,4 ГГц

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

где $c = 3 \times 10^8$ м/с — скорость света, $f = 868 \times 10^6$ МГц. Получим $\lambda = 0,125$

3. Используя формулу Фрииса для свободного пространства, выразим d:

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{P_r}}$$

Подставив значения, мы получим 19894 метра.

Расчета модели ITU-R P.530

Приведу пример расчета по модели ITU-R P.530. Данная модель является комплексной, учитывает многие факторы, которые могут повлиять на различные параметры. Для расчета я буду использовать следующую формулу для расчета затухания из которой можно вывести расстояние:

$$A_a = \gamma_a d$$

где: γ_a – погодное затухание, d – длина трассы.

Стоит сразу сказать, что подробное вычисление погодного затухания приводиться не будет, так как оно учитывает многочисленные разнообразные параметры. И для его расчета для данного примера, были взяты средние значения частот-зависимых комплексных значений рефракции и препятствия характерные для пригорода.

Выразив d , получим:

$$d = \frac{A_a}{\gamma_a}$$

Значения $A_a = 93,1$ а $\gamma_a = 11,3$ подставим их и получим $d = 8,23$ км

Расчета модели Okumura-Nata

Приведу пример расчета модели Okumura-Nata, возьмем нелицензируемую частоту 868 МГц. Формула для городской среды выглядит следующим образом:

$$L = 69.55 + 26 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{te})) \log_{10}(d)$$

где:

- d - расстояние между передатчиком и приемником
- f - частота передачи
- h_{te} - высота антенны передатчика
- h_{re} - высота антенны приемника
- L - среднее затухание пути
- $a(h_{re})$ - коррекция для высоты антенны приемника в городских условиях, которое рассчитывается по следующей формуле:

$$a(h_{re}) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7) h_{re} - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8)$$

1. Выразим d из исходном уравнения получим:

$$d = 10^{\frac{L - 69.55 - 26.16 \log_{10}(f) + 13.82 \log_{10}(h_{te}) + a(h_{re})}{44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{te})}}$$

2. Предположим, что у нас есть следующие исходные данные подставим их в уравнение

- Частота передачи $f = 868$ МГц
- Высота антенны передатчика $h_{te} = 30$ м
- Высота антенны приемника $h_{re} = 1.5$ м
- Среднее затухание пути $L = 151.02$ дБ

Получается 5.13 км

Сравнительный анализ методик

При выборе методики расчета дальности связи необходимо учитывать специфику задачи, требования к точности и доступные ресурсы.

Модель Фрииса

Преимущества:

- Простота и понятность расчетов, не требует сложных вычислений или специализированного программного обеспечения.

- Подходит для первичных оценок дальности связи в идеальных условиях без препятствий.

Ограничения:

- Игнорирует влияние атмосферы, препятствий и других реальных условий, что может привести к значительным расхождениям с реальной дальностью связи.

- Неприменима для детального планирования в городских и других сложных условиях.

Модели с учетом многослойности атмосферы

Преимущества:

- Учитывают влияние атмосферы на распространение радиоволн, включая рефракцию, поглощение и рассеяние, что повышает точность расчетов.

- Подходят для расчета дальности связи на большие расстояния и на высоких частотах.

Ограничения:

- Требуют доступа к детальной информации об атмосферных условиях и характеристиках местности.

- Расчеты более сложны и могут требовать использования специализированного программного обеспечения.

Статистические модели

Преимущества:

- Основаны на обширных эмпирических данных, что обеспечивает высокую точность прогнозов в различных реальных условиях.

- Гибки в применении, позволяя адаптировать расчеты под специфику местности и другие особенности.

Ограничения:

- Требуют наличия больших объемов данных о местности, что может быть не всегда доступно.

- Вычисления могут быть ресурсоемкими, особенно для больших территорий или сложных условий распространения.

Заключение

Выбор наиболее подходящей методики для расчета дальности связи радиоприемопередатчиков является критически важным этапом в проектировании и эксплуатации систем радиосвязи. Этот выбор должен базироваться на глубоком понимании специфики задачи, требований к точности и доступности необходимых данных.

Каждый проект радиосвязи имеет уникальный набор требований и ограничений. Например, проекты в области мобильной связи и беспроводного интернета требуют учета густонаселенных городских условий с многочисленными препятствиями для радиоволн. В то время как системы связи для удаленного мониторинга или исследовательских целей в малонаселенных или отдаленных районах сталкиваются с совершенно другими вызовами, такими как необходимость передачи сигналов на большие расстояния при минимальных потерях.

Степень необходимой точности в расчетах может значительно варьироваться в зависимости от приложения. В критически важных системах, где ошибки могут привести к серьезным последствиям, потребуются более точные и сложные методики расчета. В менее критичных приложениях можно обойтись более простыми и менее ресурсоемкими подходами.

Для выполнения расчетов по некоторым методикам требуются детальные данные, включая информацию о местности, атмосферные условия и характеристики оборудования. Наличие или отсутствие этих данных может существенно влиять на выбор методики. В случаях, когда доступ к подробной информации ограничен, могут быть предпочтительны методики, основанные на обобщенных или упрощенных предположениях.

Каждая методика имеет свои сильные и слабые стороны в зависимости от контекста ее применения. Модель Фрииса идеально подходит для быстрых оценок в идеальных условиях, но не учитывает многие важные факторы реального мира. Модели с учетом многослойности атмосферы и статистические модели предлагают более высокую точность за счет включения в расчеты большего числа переменных, но требуют значительных вычислительных ресурсов и доступа к детальным данным.

Выбор подходящей методики расчета дальности связи требует комплексного подхода, учитывающего множество переменных. Глубокое понимание принципов работы и ограничений каждой доступной методики позволит специалистам в области радиосвязи эффективно применять их в соответствии с конкретными требованиями и условиями их проектов.

Литература

1. Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communications: Principles and Practice*. 2nd Edition. Prentice Hall.
2. ITU-R P.530-17 (2017). *Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems*. International Telecommunication Union.

3. Friis, H. T. (1946). A Note on a Simple Transmission Formula. Proceedings of the IRE, 34(5), 254-256.
4. Mollel, S. M; Kisangiri, M. Comparison of Empirical Propagation Path Loss Models for Mobile Communication. The International Institute for Science, Technology and Education (IISTE).
5. Рекомендация МСЭ-R P.530-13 (09/2010) "Прогнозирование затухания, вызванного дифракцией на трассах с прямой видимостью и трассах, превышающих горизонт". 2009. [https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-13-200910-S!!PDF-R.pdf]
6. Рекомендация МСЭ-R P.676-13 (08/2022) "Затухание в атмосферных газах и связанное с ним воздействие" ("Attenuation in Atmospheric Gases and Related Effects"). 2022. [https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-13-202208-I!!PDF-R.pdf]

ПРИМЕНЕНИЕ SIW ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УСТРОЙСТВ

Шалаева Т.А.
НИУ МАИ

8(903)565-15-05, tatyana_shalaeva@inbox.ru

В статье описана разработка элементов СВЧ-тракта, построенных по технологии интегрированного в подложку волновода, работающего в частотном диапазоне от 2,5 ГГц до 3,5 ГГц. Рассматриваются улучшения параметров изделий с применением новой технологии, в частности в области электромагнитной совместимости.

Ключевые слова: SIW, интегрированный в подложку волновод.

Application of SIW of technology for creation of powerful semiconductor devices. Shalaeva T.A., NRU MAI.

In article development of the elements of a microwave path constructed on technology of the wave guide integrated into a substrate working in the frequency range from 2,5 GHz to 3,5 GHz is described. Improvements of parameters of products with use of new technology, in particular in the field of electromagnetic compatibility are considered.

Keywords: SIW, integrated into a substrate a waveguide.

Введение

Современные информационные технологии, в части радиоэлектронных устройств, развиваются в двух направлениях: миниатюризация и увеличение объема передаваемой и обрабатываемой информации.

Уплотнение информационных каналов, применение сложных систем кодирования информации, переложение кодов в виде импульсных, частотных и фазовых модуляций, в условиях уменьшения массогабаритных параметров устройств приводит к повышению требований ЭМС для отдельных компонентов внутри устройства.

Одним из решений этих задач является построение высокочастотных трактов с большими коэффициентами изоляции. Для этого используются экранирование, современные радиопоглощающие материалы и технологии, новые способы передачи сигналов и пр.

Очень высокими параметрами изоляции ВЧ излучения обладают волноводные тракты. Они же имеют минимальные потери при прохождении через них сигналов [11]. Однако они имеют ряд существенных недостатков: массогабаритные параметры, необходимость применения переходов на микрополоски и в коаксиал для работы с микроминиатюрной техникой [6-8, 15]. Для устранения вышеуказанных недостатков разработана и активно внедряется идея о волноводах, интегрированных в подложку печатной платы.

Конструкция SIW-структуры

Структура перехода с SIW на микрополосок состоит из верхней и нижней металлических плоскостей подложки и двух параллельных массивов сквозных металлизированных отверстий (также известных как переходное ограждение). Геометрия и расположение переходных отверстий показаны на рисунке 1. [4]

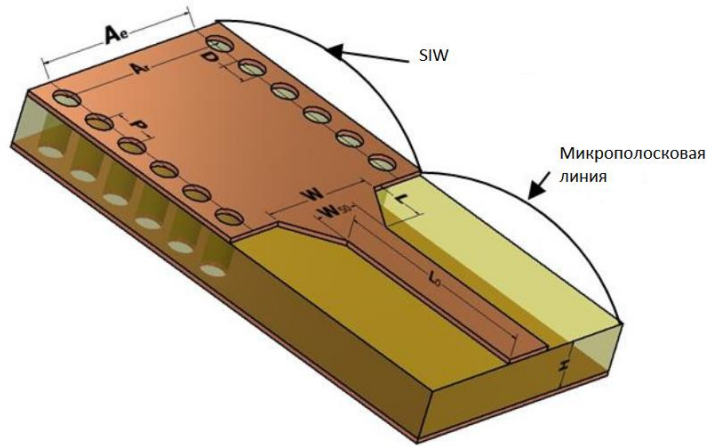


Рисунок 1 - Схема структуры SIW

Ширина структуры SIW рассчитывается по формуле 1, соответствующая нижней частоте среза f_c для доминирующего режима (TE₁₀),

$$f_c = \frac{c}{2l\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

где l – эффективная ширина между двумя массивами переходных отверстий, ϵ_r – диэлектрическая проницаемость подложки, используемая для построения структуры SIW, c – скорость света в свободном пространстве.

Увеличение расстояния p между соседними переходными отверстиями и увеличение диаметра d приводит к увеличению потерь в конструкции SIW. Следовательно, выбор местоположения и диаметра и диаметра сквозных отверстий в конструкции SIW являются важнейшими параметрами проектирования. Параметры p и d рассчитываются по формулам 2 и 3.

$$p \leq 2d \quad (2)$$

$$d < \frac{\lambda_g}{5} \quad (3)$$

где λ_g – направляемая длина волны, определяющаяся с помощью формулы 4.

$$\lambda_g = \frac{\lambda_{ms}}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

где λ_{ms} – длина волны микрополоскового участка, соответствующая центральной частоте f_c , а ϵ_r – эффективная диэлектрическая проницаемость (формула 5).

$$f_c = \frac{f_l + f_h}{2} \quad (5)$$

где f_l и f_h нижняя и верхняя граничная частота SIW.

Ширину A можно найти по формуле 6.

$$Ae = \frac{a}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

С помощью формулы 6 найдем интегрированную ширину Ar [2] (формула 7).

$$Ar = Ae + \frac{D^2}{0,95P} \quad (7)$$

Конструкция микрополосковой структуры

Микрополосковая часть состоит из последовательной комбинации четвертьволнового конического трансформатора и дорожки 50Ω , как показано на рисунке 1. Для расчета используем формулу 8. [3]

$$\frac{1}{We} = \frac{4,38}{ae} \exp \left(-0,627 \frac{Er}{\frac{Er+1}{2} + \frac{Er-1}{2} \frac{1}{\sqrt{1+12\frac{h}{w}}}} \right) \quad (8)$$

Чтобы получить приемлемые обратные потери, длину конуса следует выбирать кратной четверти длины волны (формула 9). [3]

$$L = \frac{n\lambda_g}{4}, n = 1, 2, 3, 4 \dots \quad (9)$$

Моделирование и симуляция

На основании расчетов геометрических размеров с использованием уравнений, показанных в разделах выше, в программном обеспечении CST Studio Suite [1] была спроектирована модель SIW. 3D-модель волновода [12], интегрированного в подложку FR-4 с $\epsilon_r=4.3$ на основе SIW-технологии, показана на рисунке 2.

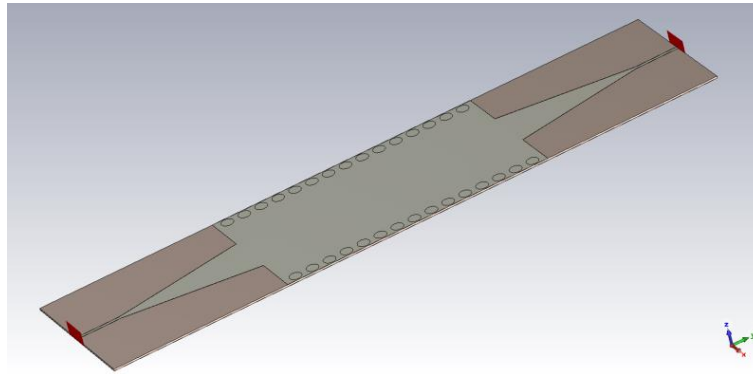


Рисунок 2 - 3D-модель SIW с микрополосками

Мощность поступает в порт 1 и выходит из порта 2. На рисунке 3 показано коэффициенты отражения S_{11} (дБ) и передачи S_{21} волновода. Из данного графика следует, что частота среза (при которой S_{11} находится на уровне -3дБ) равна 2,47 ГГц, что очень близко к желаемому значению. В диапазоне от 2.5ГГц до 5ГГц, уровень S_{21} ниже -10дБ и ниже 20дБ в диапазоне примерно от 3,3ГГц до 4,4ГГц. [5].

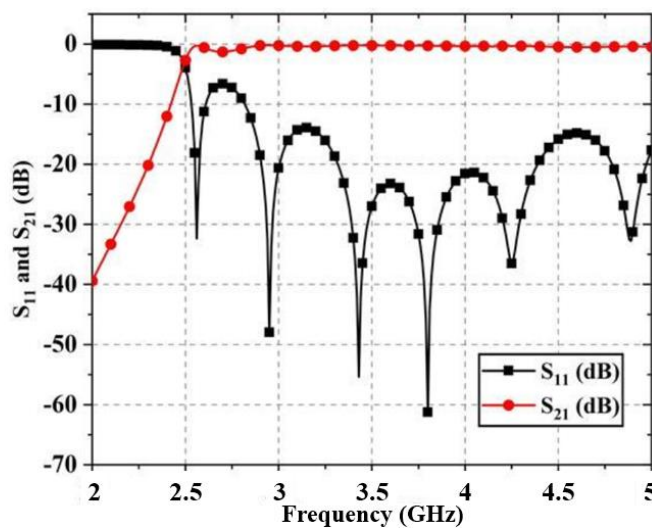


Рисунок 3 -S-параметры

Излучение и диаграмма направленности

Диаграмма направленности волновода, интегрированного в подложку печатной платы, представляет собой трехмерную модель, демонстрирующую излучение энергии волновода в пространство

в различных направлениях [17]. Она может иметь свои особенности, обусловленные конкретной конфигурацией конструкции. Диаграмма направленности позволяет оценить, как эффективно волновод излучает энергию и как распределяется излучение в пространстве (рисунок 4) [13-14].

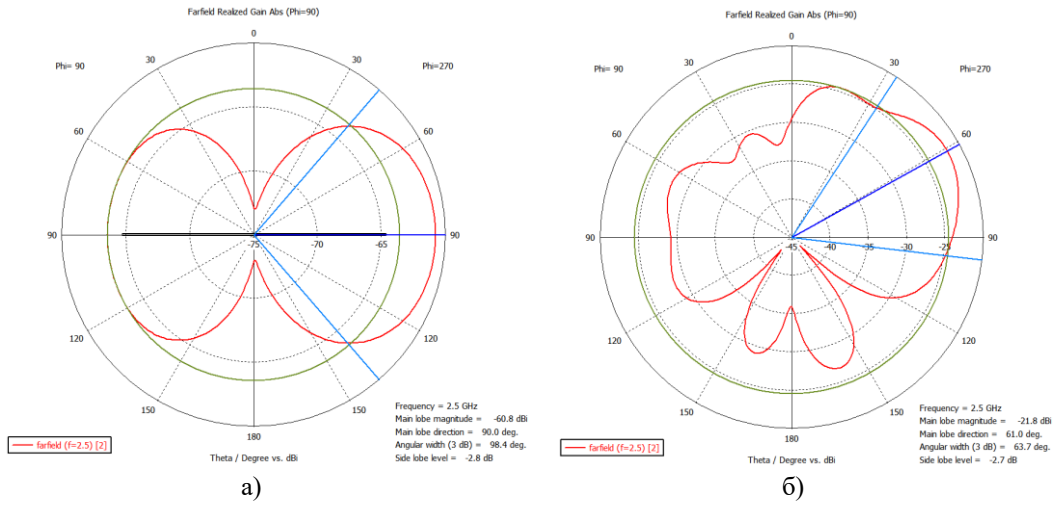


Рисунок 4 – Диаграмма направленности:
а) SIW с микрополосковой линией; б) SIW без микрополосковой линии.

При равном значении частоты в обоих случаях 2,5 ГГц, угол раскрытия по уровню 3 дБ в SIW с микрополосками равно равен 98,4°, а в SIW без микрополосков 63,7° [16].

Распространение электромагнитных волн в SIW с микрополосковой линией (рис. 5а) равно -21,83дВi, а в SIW без микрополосковой линии (рис. 5б) -54,93дВi. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что конструкция SIW с микрополосковой линией обеспечивает более эффективную передачу сигналов за счет меньшего количества потерь и дисперсии сигнала, а также имеет лучшую изоляцию [9-10].

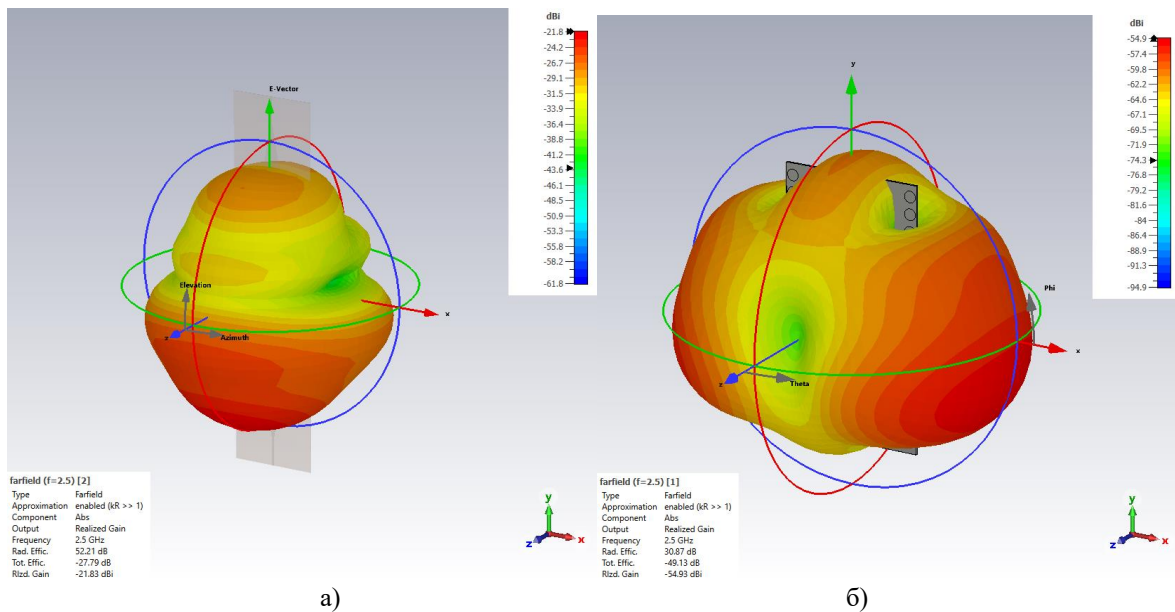


Рисунок 5–Результаты компьютерного моделирования трехмерной диаграммы направленности и оценка ее усиления на частоте 2,5 ГГц:
а) SIW с микрополосковой линией;
б) SIW без микрополосковой линии.

Заключение

Была рассчитана структура перехода с SIW на микрополосок, работающая в частотном диапазоне от 2,5 ГГц до 3,5 ГГц. Полученные результаты позволяют сделать вывод о значительном улучшении параметров в области электромагнитной совместимости. Внедрение данной разработки позволит решить

проблемы с массогабаритными параметрами и применением переходов на микрополоски и в коаксиал для работы с микроминиатюрной техникой.

Литература

1. Дризе, А. Д. Электродинамическое моделирование селекторов поляризации с помощью программного комплекса CST Studio Suite / А. Д. Дризе, К. Н. Климов // Антенны. – 2020. – № 6(268). – С. 41-47. – DOI 10.18127/j03209601-202006-05. – EDN EOJZVN.
2. Al Soufy, K.A., Al-ashwal, N.H., Swillam, M.A., Al-Kamali, F.S., D'Amours, C., Marish, E.M., Alnajjar, A.N.: Design of 60 GHz millimeter-wave SIW antenna for 5G WLAN/WPAN applications. IET Commun. 17, 974-986 (2023).
3. Deslandes, D.: Design equations for tapered microstrip-to-substrate integrated waveguide transitions. In: 2010 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, pp. 704-707. IEEE, Piscataway (2010).
4. Maurizio BOZZI, Luca PERREGRINI, Ke WU and Paolo ARCIONI, "Current and Future Research Trends in Substrate Integrated Waveguide Technology", Radio Engineering, Volume 18, No.2, June 2009.
5. Development of the integration variable selection method in numerical simulation of electromagnetic wave propagation in the time domain mode / К. Н. Климов, I. К. Епанешникова, А. М. Беветsev [et al.] // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering : 12, Strasbourg, 09–10 сентября 2019 года. – Strasbourg, 2019. – P. 111640I. – DOI 10.1117/12.2547837. – EDN LNNJAE.
6. Применение принципа электродинамического подобия и специальных материалов для уменьшения габаритов излучателя / А. С. Годин, М. С. Мацаян, Д. С. Гежа, К. Н. Климов // Научные технологии. – 2016. – Т. 17, № 4. – С. 3-13. – EDN WADTGI.
7. Soldatov, S. Investigation of the poloidal spectral resolution of O-mode reflectometry with two-dimensional full-wave modeling / S. Soldatov, A. Krämer-Flecken, C. N. Klimov // Fusion Engineering and Design. – 2009. – Vol. 84, No. 1. – P. 64-71. – DOI 10.1016/j.fusengdes.2008.10.004. – EDN LLYBGV.
8. Synthesis of structures of electric small-sized radiators using impedance matching materials for millimeter waves / К. Н. Климов, I. К. Епанешникова, А. М. Беветsev [et al.] // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering : 10, Warsaw, 11 сентября 2017 года. – Warsaw, 2017. – P. 104390A. – DOI 10.1117/12.2299952. – EDN UXVTII.
9. Годин, А. С. Численное электродинамическое исследование диаграмм направленностей внешней задачи для элемента Гюйгенса \square внешнего куба Гюйгенса / А. С. Годин, А. Б. Цай, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2015. – Т. 60, № 7. – С. 695. – DOI 10.7868/S0033849415070086. – EDN TXUIOP.
10. Годин, А. С. Численное электродинамическое исследование внутренней задачи для элемента Гюйгенса \square внутреннего куба Гюйгенса / А. С. Годин, А. Б. Цай, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2015. – Т. 60, № 4. – С. 352. – DOI 10.7868/S0033849415020059. – EDN TPWNEB.
11. Пшеничкин, А. С. Твердотельное передающее устройство вторичного радиолокатора с коррекцией фаз суммируемых сигналов / А. С. Пшеничкин, К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 1(29). – С. 83-91. – EDN PLRCVY.
12. Development of the integration variable selection method in numerical simulation of electromagnetic wave propagation in the time domain mode / К. Н. Климов, I. К. Епанешникова, А. М. Беветsev [et al.] // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering : 12, Strasbourg, 09–10 сентября 2019 года. – Strasbourg, 2019. – P. 111640I. – DOI 10.1117/12.2547837. – EDN LNNJAE.
13. Патент на полезную модель № 170118 U1 Российская Федерация, МПК H01Q 9/00. Излучатель година : № 2016109450 : заявл. 16.03.2016 : опубл. 14.04.2017 / А. С. Годин, К. Н. Климов. – EDN QRTNDC.
14. Патент на полезную модель № 169311 U1 Российская Федерация, МПК H01Q 9/00. Излучатель Климова : № 2016107995 : заявл. 04.03.2016 : опубл. 15.03.2017 / К. Н. Климов, А. С. Годин. – EDN UCNPZY.
15. Цай, А. Б. Исследование задачи уменьшения габаритных размеров антенны Вивальди как элемента плоской антенной решетки / А. Б. Цай, А. С. Годин, К. Н. Климов // Антенны. – 2017. – № 3(235). – С. 37-43. – EDN YLMPIB.
16. Годин, А. С. Численное электродинамическое исследование внешнего куба Сестрорецкого / А. С. Годин, М. С. Мацаян, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2016. – Т. 61, № 5. – С. 401. – DOI 10.7868/S0033849416050065. – EDN VTOUQJ.
17. Климов, К. Н. Построение эквивалентной схемы элементарного объема пространства для подмагниченной плазмы / К. Н. Климов, Б. В. Сестрорецкий // Радиотехника и электроника. – 2005. – Т. 50, № 6. – С. 647-658. – EDN HSHSSL

ЛАЗЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ БОРЬБЫ С БПЛА

Климов К.Н.

НИУ Московский авиационный университет

const0@mail.ru

Рассмотрены лазерные комплексы для борьбы с БПЛА LW-30 и DE M-SHORAD, разработанные в КНР и США. Приведены их состав, выходные мощности, дальности и другие характеристики, а также указаны производители. Приведено также краткое описание самого мощного на данный момент лазера США, сконструированного для высокоэнергетической установки HELSI, демонстрирующей возможности борьбы с БПЛА с использованием лазеров.

Ключевые слова: лазерные комплексы, борьба с БПЛА, высокоэнергетические лазеры, защита от БПЛА.

Laser systems for combating UAVS. Klimov K.N. NRU Moscow Aviation University.

Laser systems for combating unmanned aerial vehicles LW-30 and DE M-SHORAD, developed in China and the USA, are considered. Their composition, performance, range and other characteristics are given, as well as manufacturers. A brief description of the most powerful US laser currently available is also provided, created for the high-energy HELSI installation, demonstrating the capabilities of combating unmanned aerial vehicles using lasers.

Keywords: laser systems, combating unmanned aerial vehicles, high-energy lasers, protection against unmanned aerial vehicles.

Введение

Считается, что первое применение лучевого оружия в Европе случилось в 214 году до нашей эры, когда Архимед, защищая Сиракузы от войск римского полководца Марцеллы, создал гигантское сооружение из солнечных рефлекторов, сфокусировал лучи Солнца на парусах кораблей римлян. Таким образом римский флот был сожжен [1]. Лучи тепловой энергии были описаны в фантастических произведениях Герберта Уэллса и Алексея Николаевича Толстого «Война миров» и «Гиперболоид инженера Гарина». В 1953 году фантастика превратилась в реальность в устройстве, названном мазер – microwave amplification through stimulated emission of radiation – усиление микроволн через стимуляцию излучения. А уже в 1964 году Таунс, Басов и Прохоров получили Нобелевскую премию за создание лазера. Далее в разное время были созданы лазеры разных типов: газовые, химические, эксимерные, полупроводниковые, а также лазеры на органических красителях. В 70-х годах прошлого века достаточно приемлемым результатом считалось достижение КПД лазеров 2% [2]. Это означало, что для достижения выходной средней мощности 30 кВт необходимо было иметь источник со средней мощностью 1.5 МВт и, при этом, обеспечивать рассеяние тепловой мощности 1.47 МВт, что накладывало соответствующие требования на систему питания и охлаждения. В результате установки получались энергоёмкие, имели значительную массу, габариты и стоимость. Обратимся к примерам. В 1978 году в Ливерморской национальной лаборатории имени Лоуренса была запущена двадцатилучевая лазерная система для термоядерного синтеза «Шива» [1]. В следующей установке «Нова» мощность была увеличена на порядок. Импульсная мощность следующей лазерной системы для термоядерного синтеза – National Ignition Facility (NIF), состоящей из 192 лазеров, составила семьсот тысяч ГВт [1]. В 1983 году в США были проведены испытания рентгеновского лазера, для накачки которого использовалась энергия термоядерного взрыва [1]. Именно после признания этих испытаний успешными появилось заявление Рейгана о программе создания так называемой противоракетной обороны (СОИ – стратегическая оборонная инициатива), широко известной в нашей стране программы «Звёздных войн». Все указанные системы по своей сути были экспериментальными уникальными установками, имели чрезвычайно высокую стоимость и энергопотребление [1].

В последние десятилетия по сути произошёл технологический скачок, который позволил на порядки снизить стоимость и повысить энергетическую эффективность серийно выпускаемых лазерных установок. Стоимость некоторых серийно выпускаемых лазеров, а именно лазеров для станков по резке металла, в настоящий момент составляет 1 миллион рублей на 1 кВт средней выходной мощности при коэффициенте полезного действия от 30% до 35%, при том, что они могут работать непрерывно – 24 часа в сутки 7 дней в неделю – с деградацией мощности 10% к концу года [3, 4]. В таких лазерах обеспечивается не только высокий КПД, но и хорошие показатели по расходимости луча, что позволяет достигать на расстояниях до 150 мм при радиусе пятна 10 мкм и выходной мощности 30 кВт плотности потока мощности излучения до 95 МВт/мм². При таких плотностях потока мощности разрезаемый металл испаряется за доли секунды.

Стандартными блоками при построении таких лазеров являются модули по 3 кВт. Если нужна выходная мощность, например, 30 кВт, то формируется система из 10 модулей по 3 кВт, если нужна мощность 50 кВт, то формируется система из 17 модулей [3, 4], и т.д. Сложение мощностей модулей осуществляется некогерентно [3, 4].

Ещё раз следует обратить внимание, что такие лазеры – это не уникальные «дорогие» изделия с чрезвычайно высоким энергопотреблением, обладающие неприемлемо большой массой и габаритами. Такие лазеры – это серийно выпускаемые на конвейере завода «дешёвые» изделия с приемлемыми ценой, энергопотреблением, массой и габаритами. Обратим, для сравнения, внимание на следующую оценку. Если КПД лазерной установки повысили с 2% до 30% (в 15 раз), то для достижения средней выходной мощности 30 кВт, потребуется обеспечить питание средней мощностью уже не 1.5 МВт, а «всего лишь» 100 кВт (меньше в 15 раз), и величина рассеиваемой тепловой мощности составит не 1.47 МВт, а 70 кВт (меньше в 21 раз). Именно в силу соотношения указанных энергетических показателей, при повышении КПД до 30%, лазерные установки стали приемлемыми по энергопотреблению и рассеянию тепла, а, следовательно, по массе и габаритам, и, что немаловажно, и по стоимости. Обратим внимание, что фактически КПД лазерных установок приблизилось к КПД твердотельных полупроводниковых усилителей.

Именно в силу приведённых выше причин – КПД более 30% при обеспечении хорошей расходимости лазерного луча, указанные лазерные установки и легли в основу создания комплексов для борьбы с БПЛА в различных странах. В настоящее время в открытом доступе представлена информация по различным лазерным комплексам для борьбы с БПЛА разработанным в КНР, США, Турции, Израиле и Южной Корее. Рассмотрим ниже некоторые из них.

Лазерный комплекс для борьбы с БПЛА LW-30

Китайская государственная корпорация аэрокосмической науки и промышленности (CASIC) разработала мобильный лазерный комплекс для борьбы с БПЛА LW-30 с выходной мощностью лазерного излучения 30 кВт [4]. Данный комплекс предназначен для уничтожения малых и средних беспилотных летательных аппаратов на дистанциях до 25 км. Комплекс борьбы с БПЛА LW-30 смонтирован на автомобиле и может поражать с высокой точностью воздушные цели на высотах до 1000 м, летящие со скоростями до 200 км/ч. В его состав входят 3 машины: 1) машина радиолокационного обнаружения, связи и управления, 2) машина материально-технического обеспечения, 3) машина с лазерным комплексом. Комплекс LW-30 достаточно мобилен, быстро разворачивается и может работать как в городских условиях, так и использоваться при проведении операций в малонаселённой местности во взаимодействии с другими комплексами, в том числе обеспеченными ракетами для исключения слепых зон.



Рис. 1 – Лазерный комплекс для борьбы с БПЛА LW-30 [5].

Лазерный комплекс для борьбы с БПЛА LW-30 может поражать воздушные цели даже во время своего движения, обеспечивая не только обнаружение, но и определение приоритетности и наведение на цель средства поражения при массовой атаке [5]. Рассматриваемый комплекс способен осуществлять мягкое и жесткое поражение фотоэлектрического оборудования обнаружения и наведения как у ракет, так и малых БПЛА. Данный комплекс используется не только для поражения технического зрения, но способен также поражать как управляемые бомбы, так и миномётные снаряды. Отличительной чертой комплекса является использование элементов искусственного интеллекта для повышения эффективности поражения целей – комплекс не просто обнаруживает цель, но распознаёт её и выбирает для поражения наиболее уязвимую часть цели на каждом участке траектории (см. рис. 2).

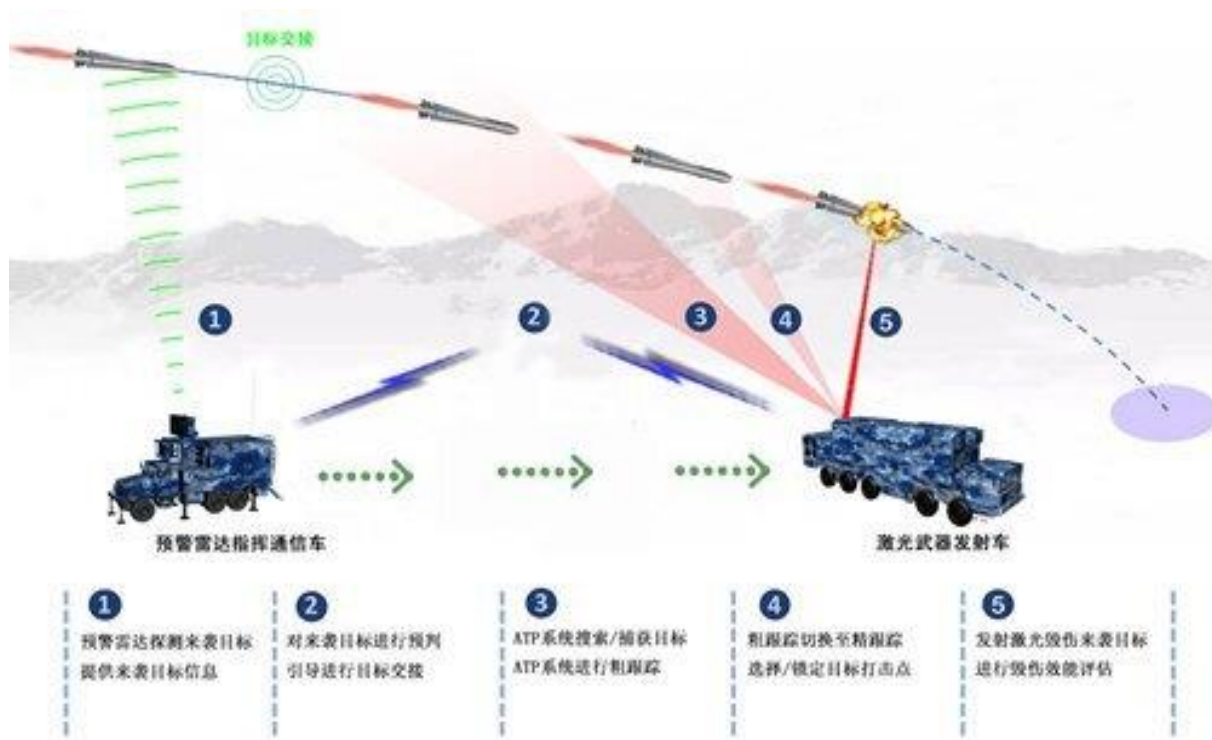


Рис. 2 – Схема взаимодействия составных частей лазерного комплекса LW-30 [6].

Заявленное время поражения цели данного лазерного комплекса для борьбы с БПЛА – до нескольких секунд. LW-30 был представлен на 12-ом Международном аэрокосмическом салоне Airshow China 2018 [5].

Рассмотрим далее лазерный комплекс для борьбы с БПЛА, который в настоящее время разрабатывается в США.

Лазерный комплекс для борьбы с БПЛА DE M-SHORAD

С конца прошлого десятилетия Пентагон и его подрядчики работали над проектом перспективного зенитного лазерного комплекса DE M-SHORAD [7]. К настоящему времени они завершили разработку новой боевой машины и провели ее через несколько этапов испытаний. Сейчас проводятся войсковые испытания на базе одной из строевых частей. Отметим, что испытания нескольких образцов рассматриваемых лазерных комплексов были проведены в Ираке, где должны были показать свой потенциал в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации и боевому применению [7, 8]. Разработка «маневренной системы ПВО на основе направленной энергии» Direct Energy Maneuver Short-Range Air Defense (DE M-SHORAD) началась в 2019 г. по инициативе Пентагона. Целью проекта являлось создание зенитного лазерного комплекса (ЗЛК) на шасси бронетранспортера Stryker с излучателем мощностью 50 кВт. При помощи такой техники в перспективе планировали усилить войсковую ПВО армии. В конкурсной части программы приняли участие компании Raytheon (ныне RTX) и Northrop Grumman. В конце 2020 г. они построили и предъявили на испытания опытную технику своей разработки. Сравнительные испытания продолжались несколько месяцев, после чего «Нортроп-Грумман» вышла из проекта. Причиной этого стали недочеты конструкции лазера, приводившие к перегреву и даже к возгоранию. Вскоре компания RTX стала официальным победителем конкурса и получила контракт на

продолжение работ. По условиям документа, в 2022-23 гг. она должна была собрать и передать Пентагону партию из четырех изделий DE M-SHORAD для проведения войсковых испытаний. В 2024 г. ожидалась поставка еще одной такой партии для расширения программы тестов и проверок. Первые опытные изделия для войсковых испытаний передали заказчику в начале 2023 г. В апреле 2023 года, на полигоне Юма (шт. Аризона) состоялись первые учебно-боевые стрельбы в рамках нового этапа испытаний (рис. 3). В дальнейшем армия США получила оставшиеся ЗЛК первой партии и продолжила разносторонние испытания. Зенитный лазерный комплекс DE M-SHORAD разработки компании RTX дошел до стадии производства опытной партии техники и испытаний.



Рис. 3 – Зенитный лазерный комплекс DE M-SHORAD [8].

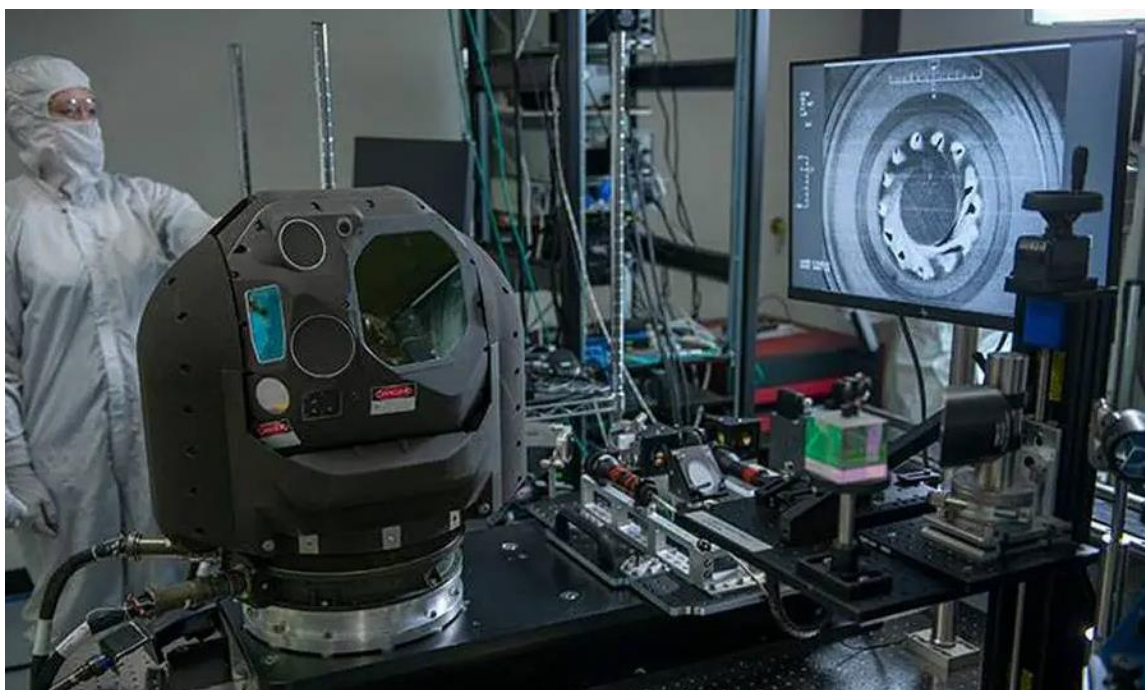


Рис. 4 – Система направления излучения мощного лазерного луча, аналогичный используемому в системе DE M-SHORAD [8].

Одной из наиболее важных частей лазерного комплекса является система направления излучения мощного лазерного луча, показанная на рисунке 4.

В недавнем прошлом DE M-SHORAD проверили в условиях полигона, а теперь несколько боевых машин отправлено на удаленную базу для отработки вопросов реальной эксплуатации и применения. Текущий этап войсковых испытаний должен завершиться в 2024-25 гг. Его результатом станут рекомендации по дальнейшему развитию конструкции, а также руководства по эксплуатации и применению техники. В 2025 г. планируется начать исследования и испытания, направленные на поиск методов и тактик совместного применения лазерных и «традиционных» зенитных систем войсковой ПВО. По всей видимости, в рамках этих мероприятий комплекс DE M-SHORAD будет работать вместе с ракетно-пушечным M-SHORAD на том же шасси. При отсутствии каких-либо проблем и затруднений, способных негативно повлиять на ход работ, до конца 2025 г. собираются запустить серийное производство. Это означает, что к 2026-27 гг. новые ЗЛК в достаточном количестве попадут в строевые части, и вскоре первые подразделения с такой техникой выйдут на уровень начальной оперативной готовности. Полную готовность этих батарей / дивизионов, а также массовое развертывание DE M-SHORAD в войсках следует ожидать к концу десятилетия [7, 8]. Рассматриваемый лазерный комплекс будет специализироваться на поражении БПЛА – от малых коптеров до средних изделий массой 600 кг. В зависимости от дальности и погодных условий, лазерный луч мощностью до 50 кВт сможет подавлять или повреждать оптику, либо разрушать конструкцию цели.

Система ПВО Stryker Directed Energy Maneuver-Short Range Air Defense, или DE M-SHORAD, представляет собой программу, запущенную армией США для интеграции высокоэнергетической лазерной системы оружия класса 50 киловатт на бронированной машине Stryker A1 8x8. Интеграция лазера класса 50 кВт на боевой машине Stryker A1 является частью программы MMHEL (Multi-Mission High Energy Laser). MMHEL представляет собой интеграцию и демонстрацию технологий с твердотельной лазерной системой, гибкой системой управления лучом и вспомогательными лазерными подсистемами, интегрированными в боевую платформу. Система ПВО Directed Energy Maneuver-Short Range Air Defense, или DE M-SHORAD, представляет собой лазер класса 50 кВт, предназначенный для защиты дивизий и боевых групп бригад от беспилотных авиационных систем, вертолетов и самолетов, ракет, артиллерии и минометов [7, 8]. В сентябре 2021 года армия США выбрала Kord Technologies из Редстоуна, штат Алабама, и Raytheon из Мак-Кинни, штат Техас, в контракте на 123,9 млн долларов на поставку еще трех 50-киловаттных систем лазерного оружия высокой энергии для трех машин Stryker A1. Kord является главным по контракту, ведущим интегратором и предоставляет систему управления питанием и охлаждения. Raytheon предоставляет 50-киловаттный лазер высокой энергии, направляющий луч, электрооптическую/инфракрасную систему обнаружения и отслеживания целей и многоцелевой радар Ku720. Добавление многоцелевого, усовершенствованного электронного сканирующего радара Ku720 — уменьшенной, высокомобильной версии радиочастотной системы Ku-диапазона Raytheon — обеспечивает возможности обнаружения возникающих угроз на большем расстоянии, чем другие датчики поля боя. В августе 2021 года армия США испытала свой первый прототип высокоэнергетического лазерного оружия на бронированных боевых машинах Stryker во время «боевой стрельбы» в Форт-Силл, штат Оклахома. Во время стрельбы оснащенные лазером Stryker столкнулись с различными сценариями для проверки системы направленной энергетической маневренной противовоздушной обороны ближнего действия (DE M-SHORAD). Первый комплект бронированных машин Stryker 8x8, оснащенных 50-киловаттным лазерным оружием, был доставлен в сентябре 2022 года подразделению солдат армии США в Форт-Силл, штат Оклахома. Армия США назвала свою систему направленной энергетической маневренной противовоздушной обороны ближнего действия «Guardian».

Бронемашин Stryker SHORAD 8x8, часть направленной энергетической маневренной системы ПВО ближнего действия (DE M-SHORAD), вооружена высокоэнергетическим лазерным оружием класса 50 кВт, которое установлено снаружи в задней части корпуса. Система вооружения DE M-SHORAD объединяет высокоэнергетический лазер класса 50 кВт, направляющую луч, электрооптическую/инфракрасную систему обнаружения и сопровождения цели и многоцелевой радар Ku720. Для поддержки лазерной и лучевой системы управления DE M-SHORAD имеет системы управления питанием и температурой, которые питают и охлаждают все подсистемы и обеспечивают достаточный боезапас для поражения множества целей. Бортовая подсистема управления боем, связи, командования и контроля обрабатывает сигналы и цели. Оптическая система с достаточно большой апертурой для лазера обеспечивает необходимую систему для дальней разведки, наблюдения и разведывательной деятельности. Высокоточное наведение лазерной системы позволяет DE M-SHORAD выполнять необходимые задачи по наведению на наземные цели.

Лазер для высокоэнергетической демонстрационной установки HELSI

Американская корпорация Lockheed Martin в сентябре 2022 года сообщила о поставке лазера мощностью 300 кВт для демонстрации использования высокоэнергетических установок для нужд министерства обороны США [9]. Данный лазер разработан в рамках инициативы Пентагона по

масштабированию высокоэнергетических лазеров (HELSI), и, на данный момент, является самым мощным лазером, представленным в США для нужд Пентагона [10].



Рис. 5 – Внешний вид высокоэнергетической демонстрационной установки HELSI [10].

К сожалению, в информации по данному лазеру, отсутствует разъяснение 300 кВт – это средняя выходная мощность лазерного излучения, или мощность, с которой осуществляется питание лазерного комплекса, 300 кВт – это импульсная или средняя мощность, работает ли данный лазер непрерывно, или сделав несколько выстрелов затем «долго отдыхает», а в этом случае возникает вопрос о так называемой «скорострельности». При этом если 300 кВт – это средняя выходная мощность лазерного излучения, то мощность питания будет составлять не менее 1 МВт, а величина отводимой тепловой мощности составит не менее 700 кВт, и это в рамках предположения для оценки о 30% КПД. При более низких КПД, значения мощности питания и отвода тепла становятся ещё менее привлекательными, и речь будет идти о возможности технической реализации комплекса только на стационарной либо морской платформах.

Заключение

В работе рассмотрены лазерные комплексы для борьбы с БПЛА LW-30 и DE M-SHORAD, разработанные в КНР и США с выходными мощностями лазерного излучения 30 кВт и 50 кВт соответственно. В описании установки DE M-SHORAD отсутствует информация об энергетической установке, осуществляющей питание комплекса. Комплекс производства КНР предлагается для продажи в третьи страны, тогда как лазерный комплекс США, находится в состоянии завершения испытаний. Важно также то, что разработан и поставлен лазер мощностью 300 кВт для установки, демонстрирующей возможности лазеров для борьбы с БПЛА. Таким образом в ближайшее время мы станем свидетелями не только появления нового «рода беспилотных войск», но и появления соответствующих высокотехнологичных средств для борьбы с беспилотниками.

Список литературы

1. Каку, М. Физика невозможного / Каку Митио; перевод с английского Н. Лисовой. – 3-е изд. – Москва: Альпина нон-фикшн. 2016. – 456 с.
2. Лазерные комплексы «Алмаза» (воспоминания участников создания). – Москва, 2022. – 280 с.
3. <https://en.raycuslaser.com> (Дата обращения 07.09.2024).
4. <https://vosteklaser.ru> (Дата обращения 07.09.2024).
5. <https://warspot.ru/13723-kitay-prodayot-boevye-lazery> (Дата обращения 07.09.2024).
6. <https://ru.militarydrones.org.cn/lw-30-laser-weapon-system-price-p00443p1.html> (Дата обращения 07.09.2024).
7. <https://topwar.ru/239753-zenitnyj-lazernyj-kompleks-de-m-shorad-na-stadii-ispytaniy.html> (Дата обращения 14.09.2024).
8. https://www.army.mil/article/270134/groundbreaking_laser_prototype_systems_delivered_to_4_60th_air_defense_artillery_regiment (Дата обращения 14.09.2024).
9. <https://news.lockheedmartin.com/2023-07-28-Lockheed-Martin-to-Scale-Its-Highest-Powered-Laser-to-500-Kilowatts-Power-Level> (Дата обращения 14.09.2024).

10. <https://gagadget.com/ru/weapons/167887-lockheed-martin-peredala-pentagonu-300-kvt-boevoy-lazer-helsi-eto-samaya-moschnaya-zvezda-smerti-v-mire/> (Дата обращения 14.09.2024).

РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ КПМГ ДЛЯ ПЕРЕДАТЧИКА ПОРТАТИВНОГО ПМР РЕЛАКСОМЕТРА

Нгуен Д.А., Кашаев Р.С., Козелков О.В.
КГЭУ - Казанский государственный энергетический университет
+7(9600407328), navypro1991@gmail.com

Высокочастотный усилитель (ВЧ-усилитель) мощности является важным компонентом в структуре ЯМР-релаксометра. В данной статье авторы представили разработку линейного усилителя мощности для портативного ПМР-релаксометра с мощностью 15 Вт при питании от источника 12 В и до 30 Вт при питании от источника 24 В. Усилитель имеет две ступени с коэффициентом усиления до +50 дБ для частотного диапазона сигнала 1,8-30 МГц.

Ключевые слова: ВЧ-усилитель, линейный усилитель, коэффициентом усиления, сигнал, ЯМР-релаксометр, последовательности импульсов, формирования

Development of an improved cpmg pulse sequence power amplifier for the transmitter of the pmr portable relaxometer. Nguyen D.A., Kashaev R.S., Kozelkov O.V., KSPEU- Kazan State Power Engineering University

A high-frequency power amplifier (RF amplifier) is an important component in the structure of an PMR relaxometer. In this article, the author presents a development of a linear power amplifier for a portable PMR relaxometer with a consuming power of 15 VA when powered by a 12V and 30 VA when powered by a 24V source. Amplifier has two stages with gain up to +50 dB for the input signal frequency range in 1.8-30 MHz.

Keywords: RF amplifier, linear amplifier, gain coefficient, signal, NMR relaxometer, pulse sequences, formations.

I. Обзор усилителя передатчика ПМР-релаксометра

Протонная магнитная резонансная релаксометрия (ПМР-релаксометрия) является областью РЧ-спектроскопии, предоставляющая широкие возможности для анализа смесей веществ в их разных фазах [1-2]. Портативные релаксометры ПМР перспективны для данных исследований. Однако их физический размер зависит от размера усилителя мощности, необходимого для возбуждения ПМР-датчика, который обычно относится к классу А [3]. Кроме того, они используют питание от аккумулятора, поэтому на практике коэффициент полезного действия (КПД) не превышает 50% [4-5].

На кафедре «Приборостроение и мехатроника» Казанского государственного энергетического университета, разработаны ПМР-релаксометры ПМР-*NP1* (2007) и ПМР-*NP2* (2020) для экспресс-контроля параметров нефти. Прибор является прототипом для усовершенствования усилителей мощности передатчиков портативного ПМР-релаксометра. На рис.1 представлена электрическая схема усилителя, использующего две ступени усилителя класса АБ для усиления последовательности высокочастотных импульсов Карра-Перселла-Мейбума-Гилла (КПМГ) [6] перед подачей сигнала на ЯМР-датчик с использованием трансформатора в качестве 2-ступенчатого соединительного элемента.

На каждой ступени усиления каждого полупериода импульсной последовательности используются два транзистора или МОП-транзисторы. Усилитель класса АБ представляет собой комбинацию конфигураций класса А и класса Б [7], которая включает в себя 2 транзистора, сконфигурированных двухтактным способом, причем каждый транзистор усиливает каждую 180° половину цикла. Затем сигнал восстанавливается до полной формы входного сигнала на выходе нагрузки или каскадного трансформатора усилителя. Усиление мощности достигается за счет пар транзисторов или МОП-транзисторов, расположенных по принципу «двухтактный» (пары Q1-Q2 и Q3-Q4). Трансформатор Т1 является не только тестером усиления напряжения, но также действует как развязывающий элемент между двумя каскадами усилителя и устройством согласования импедансов.

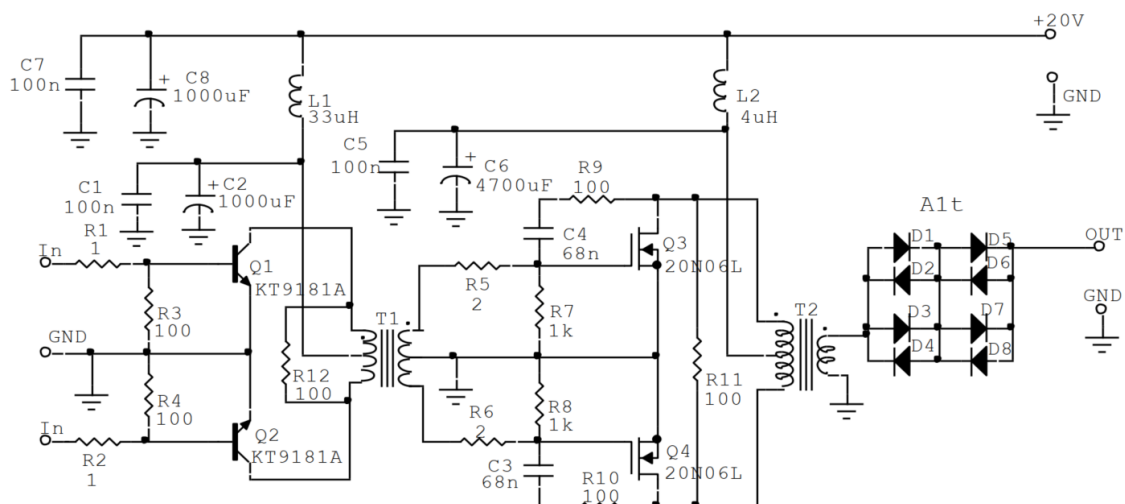


Рисунок 1. Электрическая схема усилителя передатчиков релаксометра ПМР-*NP1* (2007) и ПМР-*NP2* (2020), КГЭУ

Трансформатор T2 используется для соединения двух полупериодов последовательности импульсов с образованием полной усиленной последовательности импульсов. Кроме того, T2 также является элементом, который координирует выходное сопротивление усилителя с датчиком ПМР. Однако усиление каждой полупериода импульсной последовательности и последующее соединение ее в полную импульсную последовательность на трансформаторе также сопряжено со многими рисками возникновения фазовых ошибок или неправильных значений напряжения. На рис. 2 показана погрешность напряжения в двух полупериодах сигнала на выходе усилителя.

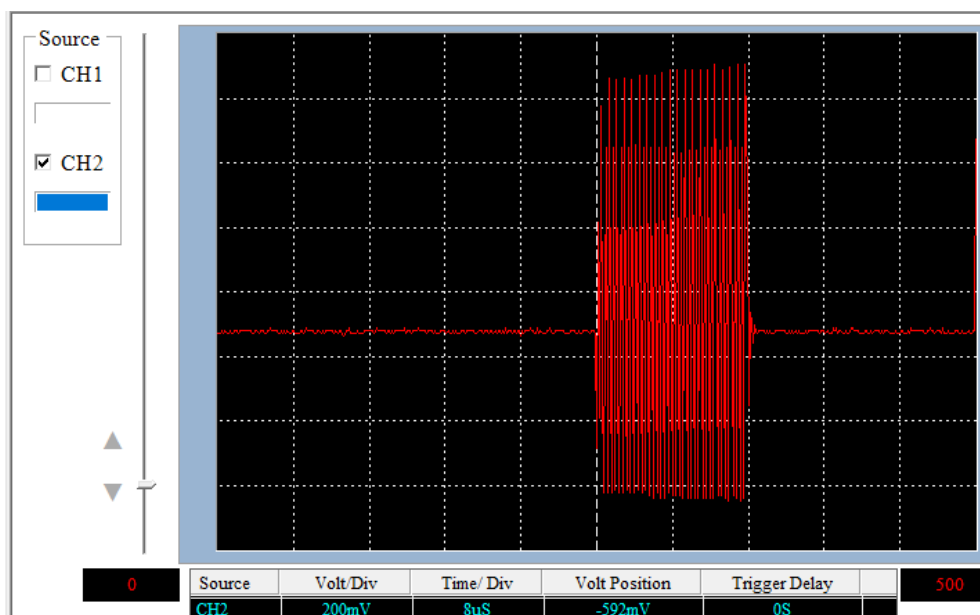


Рисунок 2. Погрешность напряжения в двух полупериодах

II. Разработка схемы линейного усилителя мощности

Чтобы устранить эти ограничения, в дополнение к изменению метода формирования последовательности импульсов, воспользуемся новым модулятором сигнала. На рисунке 3 показана последовательности радиоимпульсов Карра-Парселла-Мейбума-Гилла (КПМГ) на входе (рис.3а) и на выходе усилителя (рис.3б). Результаты показывают, что последовательность радиоимпульсов идеально линейно усиливается. При использовании стабилизированного постоянного напряжения 12В/2А коэффициент усиления усилителя достигает +40 дБ. Электрическая схема линейного усилителя мощности показана на рисунке 4.

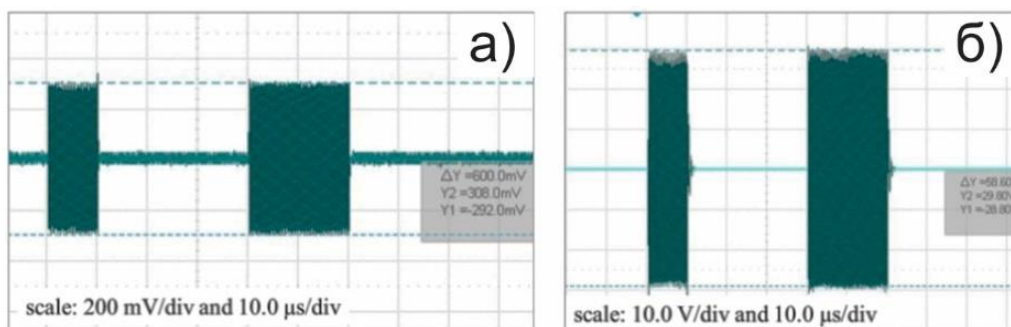


Рисунок 3. Последовательности радиоимпульсов КПМГ на входе и на выходе усилителя

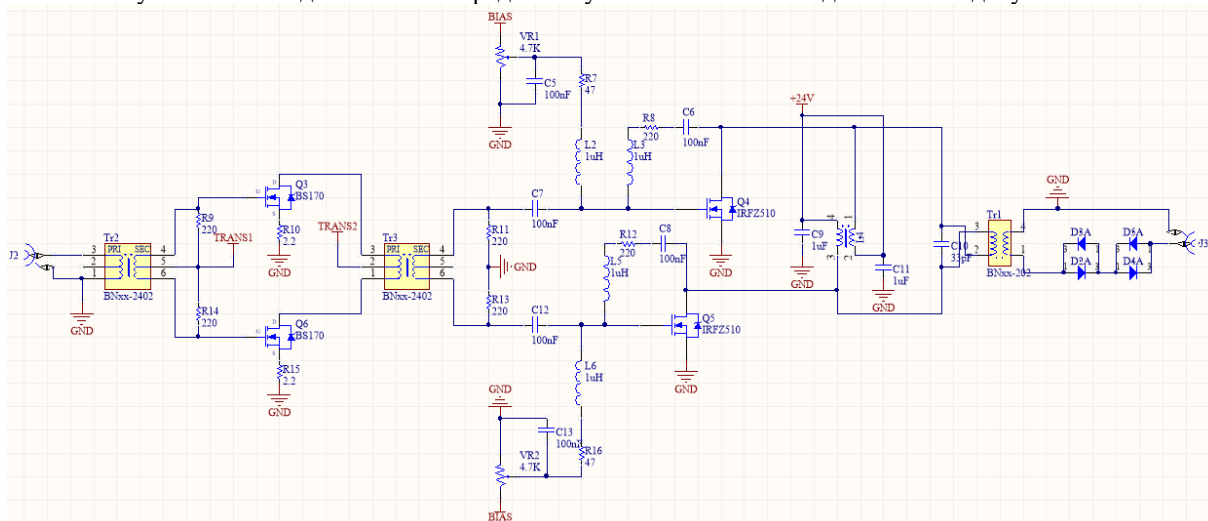


Рисунок 4. Электрическая схема линейного усилителя мощности передатчика

В усилителе используются две ступени. Двухтактная драйверная ступень применяет два транзистора BS170, используемых в передающей ступени. Во второй ступени используются в двухтактном режиме два транзистора IRF510. Мощность усилителя составляет до 15 Вт при питании от сети 12 В и до 30 Вт при питании от сети 24 В с коэффициентом усиления до +50 дБ для диапазона входного сигнала от 1,8 до 30 МГц. Габариты печатной платы усилителя составляют 3х7 см, что позволяет уменьшить общий габариты электронного блока ПМР-релаксометра.

III. Заключение

Усилитель генератора является важной частью конструкции ПМР-релаксометра. Высокий коэффициент линейного усиления позволяет минимизировать искажения сигнала после усиления, тем самым улучшая качество сигнала, принимаемого датчиком. Усовершенствованный усилитель позволяет существенно улучшить качество сигнала, принимаемого на ПМР-датчике, тем самым повышая точность анализа.

Список литературы

1. Кашаев Р.С., А.Н.Темников., Тунг Ч.В., и др. Релаксометр протонного магнитного резонанса // Приборы и техника эксперимента. 2019. № 2. С.145-148.
2. Кашаев Р.С., Сунцов И.А., Киен Н.Т., др. Экспресс-метод и аппаратура протонного магнитного резонанса для измерения плотности нефтей // Журнал прикладной спектроскопии. 2019. Т.86. №2. С.263-268.
3. J. Zhen, R. Dykstra, C. Eccles, G. Gouws, S. Obruchkov; A compact Class D RF power amplifier for mobile nuclear magnetic resonance systems. Rev. Sci. Instrum. 1 July 2017; 88 (7): 074704. <https://doi.org/10.1063/1.4994734>.
4. M. Albulet, RF Power Amplifiers (Noble Publ. Corporation, Atlanta, GA, 2001).
5. M. K. Kazimierczuk, RF Power Amplifiers (John Wiley & Sons, 2008).
6. Volkov, Vladimir. (2013). Импульсная последовательность типа КПМГ с возрастающими интервалами между 180°-ными импульсами. 10.13140/2.1.1979.1361.
7. Beohar, Ankur & Baghel, R.. (2010). A Class AB Amplifier with a Reduced Crossover Distortion for Real Time Video Applications. International Journal of Engineering Science and Technology. 2.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОНТРОЛЯ СТИЛЯ ВОЖДЕНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ И МАШИНИСТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Черенков В.И., Иванов В.С.
РТУ МИРЭА
+7 (906) 077-37-56, cherenkov@mirea.ru

В статье представлен анализ существующих современных технологий контроля стиля вождения, применяемых в сфере наземных пассажирских перевозок, основные принципы работы, их функциональные возможности, преимущества и недостатки. В работе производится анализ актуальных проблем, связанных с внедрением систем контроля стиля вождения, и перспективы их развития.

Ключевые слова: стиль вождения, современные технологии, пассажирские перевозки, системы контроля, анализ.

Analysis of modern driving style control technologies. Cherenkov V.I., Ivanov V.S. RTU MIREA.

The article discusses the analysis of existing modern driving style control technologies used in the field of passenger transportation, the basic principles of operation, their functionality, advantages and limitations. The work analyzes current problems associated with the implementation of driving style control systems and the prospects for their development.

Keywords: driving style, modern technologies, passenger transportation, control systems, analysis.

Введение

По данным Федеральной службы государственной статистики [1] только за прошедший 2023 год посредством общественного транспорта было перевезено:

Таблица 1 – Статистика перевозки пассажиров по видам транспорта за 2023 год

Транспорт	Количество человек	Единицы измерения
автобусный	8975613	тыс. человек
трамвайный	993543	тыс. человек
троллейбусный	856916	тыс. человек
метрополитен	3023134	тыс. человек

Водитель является ключевым звеном в системе пассажирских перевозок, от его профессионализма и ответственности зависит качество услуг и техническое состояние транспортного средства. При этом квалификация водителей городского транспорта зачастую оставляет желать лучшего. Без анализа причин такого состояния очевидно актуальной является задача повышения качества и безопасности обслуживания огромных объемов перевозок пассажиров.

Одним из факторов, характеризующих качество обслуживания является стиль вождения водителей общественного транспорта. Анализ ряда существующих определений понятия «стиль вождения» позволяет определить стиль вождения автомобиля как совокупность устоявшихся способов поведения одного водителя по отношению к другим водителям под воздействием ряда постоянных, личностных (тревожность, агрессивность, эмпатия и др.) и изменяющихся, ситуативных (возраст, образование, пол и др.) факторов, определяющих уровень безопасности (аварийности) на дороге. [2]

В техническом же плане под стилем вождения следует понимать уровни продольных и поперечных ускорений, которые допускает водитель при трогании, торможении, прохождении поворотов и, в целом, на маршруте.

Постановка проблемы

На сегодняшний день существует множество разнообразных систем, призванных анализировать и контролировать стиль вождения. Начиная от простых устройств, отслеживающих движение и записывающих данные, переходя ко все более технологичным и сложным алгоритмам искусственного интеллекта. Для начала рассмотрим основные устройства и системы, устанавливаемые на автотранспорт.

«Автомобильные черные ящики» Motor Vehicle Event Data Recorder (MVEDR) – это устройство, состоящее из датчиков, записывающих данные о параметрах движения автомобиля до и во время аварии, таких как: скорость, ускорение, торможение, угол поворота руля, положение педалей, положение переключателя коробки передач, данные о системе безопасности, данные о работе двигателя. Анализ полученных данных из таких устройств позволяет установить причины аварий (рис.1) и помочь определить виновника ДТП. Однако такие «автомобильные черные ящики» могут быть уязвимы к

искажению данных путем взлома, также MVEDR записывает не все данные, например, информацию о системе выпуска, состоянии водителя или внешних факторов, которые могут стать причиной аварии.



Рисунок 1 – Процесс считывания данных из MVEDR на месте ДТП.

Системы, анализирующие данные о топливном расходе – это системы, которые с помощью данных за определенный период времени позволяют выявить зависимость расхода топлива от погодных условий, загруженности автомобиля, стиля вождения, например, при плавных ускорениях расход будет меньше, чем при резком ускорении. Но такие системы не учитывают множество других факторов.

Диагностика бортовой системы On-Board Diagnostics (OBD) – это система, предназначенная для идентификации и диагностирования проблем, возникающих в ключевых узлах автомобиля, таких как: двигатель, трансмиссия, система выпуска, система тормозов, система безопасности и т.д. OBD выявляет неполадки посредством датчиков, установленных на автомобиле и записывает код ошибки (рис.2), а затем осуществляет загорание индикации об неисправности на приборной панели. Данная система позволяет уменьшить затраты на ремонт, посредством раннего выявления неисправностей и своевременного устранить их, предотвратив более серьезные поломки, что обеспечивает экономию в дальнейшей перспективе. Также на основе полученных данных можно оценить стиль вождения водителя, например, на основе уровня расхода топлива, скорости движения и ускорения. Однако такой способ оценки не может учитывать внешние факторы.

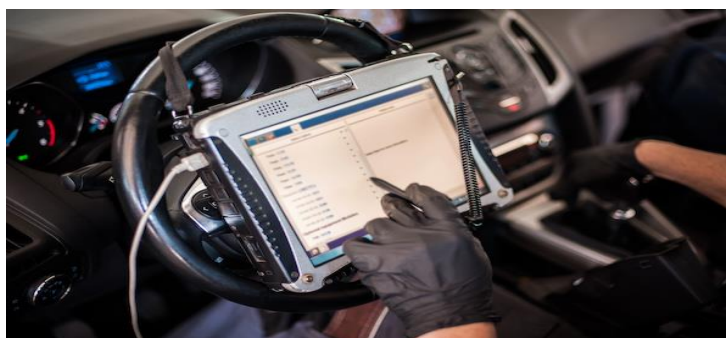


Рисунок 2 – Процесс считывания кодов ошибок из OBD.

Системы GPS-мониторинга – это технологии, которые используют спутниковую систему GPS для отслеживания местоположения и маршрута движения транспортных средств в любое время, осуществляют контроль скорости, остановки и простоя, создание маршрутов и отслеживание пройденного пути. На основе полученных данных о скорости, ускорении, расходе топлива и прочих параметров данные системы способны оценивать стиль вождения. Недостаток GPS-мониторинга в том, что требуется установка дополнительного оборудования, имеется сильная зависимость от спутникового сигнала и не учитываются внешние факторы при оценке стиля вождения.

Усовершенствованные системы помощи водителю Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) – это системы, которые включают целый ряд устройств, реализующих различные функции, [3] помогающие водителям в управлении транспортными средствами, посредством встраиваемых датчиков, камер, радаров и прочих устройств. Такие системы делятся на активные, которые без участия водителя совершают действия по предотвращению опасных ситуаций и пассивные, обеспечивающие лишь функцию оповещения. Основные функции ADAS: предупреждение о риске столкновения, автоматическое экстренное торможение, система предупреждения о пешеходах, система удержания в полосе движения, система помощи при перестроении (рис.3), системы контроля скорости и дистанции, системы помощи при

парковке и т.п.. Такие системы способны оценивать стиль вождения водителей в зависимости не только от данных автомобиля, но и внешних факторов. Но важно понимать, что у ADAS могут возникать проблемы с алгоритмами обработки информации, что в свою очередь приводит к неверным решениям на дороге и может спровоцировать аварийную ситуацию.

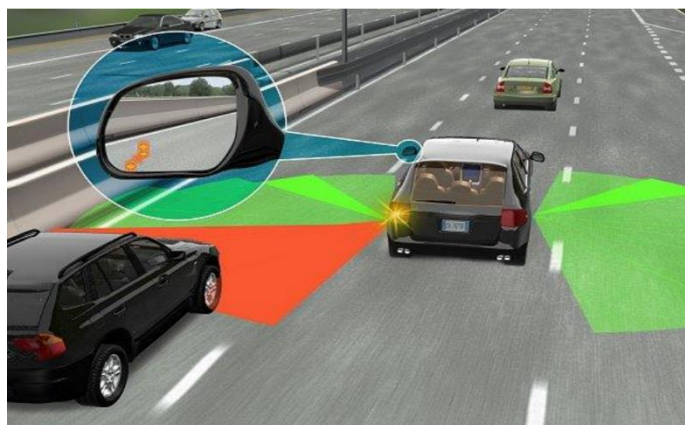


Рисунок 3 – Система помощи при перестроении.

Системы телематики (рис 4.) – это комплекс аппаратных и программных средств, позволяющий в режиме реального времени осуществлять дистанционное наблюдение за маршрутами передвижения и техническим состоянием автотранспорта и подвижных объектов. [4] Такие системы могут достаточно точно оценивать стиль вождения водителей на основе множества факторов, но требуют установки дополнительного оборудования. Наиболее популярным представителем такого типа является Fleet Management System (FMS) – здесь осуществляется оценка стиля вождения водителей посредством сбора и анализа в реальном времени данных, таких как: акселерометры и гироскопы, датчики торможения, датчики двигателя, датчики топлива, GPS-трекинг и т.п.. В дальнейшем сразу же, в соответствии с заложенными оператором данной системы параметрами, осуществляется анализ данных: измерение скорости, оценка торможения, оценка ускорения, оценка поворотов, анализ использования двигателя, оценка уровня расхода топлива и т.п.. Затем FMS присваивает рейтинг водителям, основываясь на их стиле вождения, учитывая все вышеперечисленные показатели и предоставляет обратную связь о проблемных участках движения по маршруту.

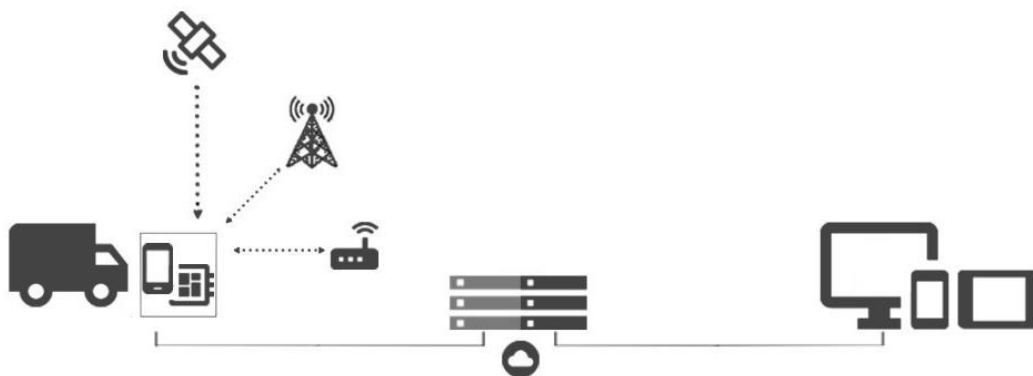


Рисунок 4 – Системы телематики.

В сфере железнодорожных пассажирских перевозок применяются комплексы различных автоматизированных систем, направленных как на контроль технического состояния подвижного состава, так и на мониторинг состояния бодрствования машиниста и анализ грамотности его действий при осуществлении маневрирования подвижного состава.

Система автоматического управления тормозами (САУТ) – это система, устанавливаемая на кране машиниста и подключенная к тормозной системе подвижного состава через специальные клапаны и датчики, которые считывают информацию о скорости и расстоянии поезда до светофора. В случае если машинист не отреагирует на сигналы САУТ (рис.5), применяется экстренное торможение для предотвращения опасной ситуации.



Рисунок 5 – Система автоматического управления тормозами.

Комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У) – это система постоянного контроля за соблюдением установленных скоростных режимов, своевременного предупреждение машиниста об опасных ситуациях и автоматического торможение в случае игнорирования сигналов. Также она осуществляет запись всех параметров маневрирования локомотивного состава, на основе полученных данных в дальнейшем можно определить стиль вождения машиниста. КЛУБ-У (рис.6) является унифицированной системой и помогает предотвратить аварии, связанные с превышением скорости, неправильным входом в кривую, несоблюдением сигналов и т.д. на различных видах подвижных составов. Данная система не способна регистрировать пульс, давление и бодрствование машиниста, не осуществляет фиксацию переговоров.



Рисунок 6 – Комплексное локомотивное устройство безопасности.

Телемеханическая система контроля бодрствования машиниста (ТСКБМ) – это система, которая состоит из основного блока и датчика, выполненного в форме браслета часов [5] с датчиками, который носит машинист. Датчики в браслете измеряют электрическое сопротивление кожи, что позволяет системе определить, насколько машинист бодр и сосредоточен. Блок в кабине содержит систему визуальной сигнализации, которая показывает уровень бдительности машиниста и если обнаруживаются признаки усталости или засыпания, то срабатывает звуковой сигнал. Если машинист не реагирует, то ТСКБМ (рис.7) применяет экстренное торможение поезда с целью предотвращения аварии. Как правило, такая система устанавливается в совокупности с КЛУБ, что позволяет фиксировать параметры маневрирования, но не отслеживает давление и пульс машиниста, а также не осуществляет фиксацию переговоров.



Рисунок 7 – Телемеханическая система контроля бодрствования машиниста.

Регистратор переговоров локомотивный РПЛ-2 – это устройство осуществляющее фиксацию переговоров между машинистом маневрового подвижного состава и диспетчером. В спорных случаях

РПЛ-2 позволяет проанализировать команды диспетчера и действия машиниста, но не может предотвратить аварию или влиять на движение поезда.

Автоматизированная система онлайн-мониторинга функционального состояния «Штурман» – это система, представляющая собой специализированный бортовой компьютер и гарнитуру, состоящую из датчиков, которая индивидуально настраивается и изготавливается по форме уха каждого машиниста. АСПМ «Штурман» (рис. 8) в режиме реального времени передает информацию о сердечном ритме, давлении, пульсе и других параметрах организма машиниста на бортовой компьютер, обрабатывает данные, оповещает машиниста и передает данные оператору. Если система обнаруживает признаки усталости и снижения концентрации внимания, то сначала происходит оповещение машиниста, в случае отсутствия его реакции, информация моментально передается диспетчеру и система осуществляет торможение поезда. Если состояние здоровья продолжает ухудшаться, то происходит замена машиниста. Система также способна анализировать данные в различных временных отрезках, что позволяет создать оптимальный график работы для каждого сотрудника и увеличить время, которое он может проводить в работоспособном состоянии. Стоит учитывать, что система «Штурман» не осуществляет контроль параметров движения состава и не ведет фиксацию переговоров между диспетчером и машинистом.



Рисунок 8 - Автоматизированная система онлайн-мониторинга функционального состояния «Штурман» [6].

Заключение

На основании проведённого анализа существующих систем можно сделать вывод, что наиболее эффективной является система, основанная на принципах телематики. Это является справедливым как для автомобильного, так и для железнодорожного вида транспорта. Поскольку такая система представляет собой совокупность аппаратных и программных решений, позволяющих с высокой точностью и в реальном времени определять состояние транспортного средства и стиль вождения водителя.

Однако стоит отметить, что на данный момент существует недостаток отечественных разработок в этой области. Большинство доступных решений являются зарубежными и не всегда учитывают индивидуальные особенности водителей. Существует потребность в создании отечественного решения, которое будет способно устранить ряд недостатков других разработок, описанных в статье. Особенно актуальным это представляется для автотранспорта, где подобные отечественные решения встречаются реже, чем в сфере железнодорожного транспорта.

Литература

1. Транспорт [Электронный ресурс] – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения: 26.08.2024).
2. Фурманов И.А., Астрейко Н.С. Адаптация многофакторного опросника стиля вождения // Философия и социальные науки. – 2016. – № 2. – С. 88-93.
3. Елисеев, Н. Системы ADAS - удобство и безопасность / Н. Елисеев // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2021. – № 2(203). – С. 102-107.
4. Арсеньева, Д. Г. Анализ систем мониторинга автотранспорта / Д. Г. Арсеньева, Е. Е. Маликова // Телекоммуникации и информационные технологии. – 2021. – Т. 8, № 1. – С. 94-102.
5. Результаты проверки телемеханической системы контроля бодрствования машиниста / В. В. Сериков, А. А. Закревская, Д. В. Захарченко [и др.] // Медицина труда и промышленная экология. – 2015. – № 1. – С. 22-26.
6. «Штурман» Автоматизированная система онлайн-мониторинга функционального состояния и помощи водителю, пилоту, машинисту, оператору [Электронный ресурс] – URL: <https://systemt.ru/solutions/shturman> (дата обращения: 28.08.2024).

ГЛАВА 3. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Осипов А.Л.

Новосибирский государственный университет экономики и управления
+7 (383) 243-95-19, alospf@mail.ru

В работе представлены экспериментальные данные по уровню производительности труда в пяти странах, включая Российскую Федерацию. Проведен статистический анализ, представленных данных, с помощью линейных и нелинейных моделей временных рядов. Из разработанных моделей были выбраны оптимальные на основе их статистических характеристик. Данные математические модели были использованы для предсказания будущих уровней производительности труда на последующие годы. Представленные модели продемонстрировали высокое качество предсказания.

Ключевые слова: прогнозирование, статистические параметры, производительность труда, инструментальные средства, математические модели.

Mathematical modeling of labor productivity using information technology. Osipov A.L. Novosibirsk State University of Economics and Management.

The paper presents experimental data on the level of labor productivity in five countries, including the Russian Federation. The statistical analysis of the presented data was carried out using linear and nonlinear time series models. Optimal models were selected from the developed models based on their statistical characteristics. These mathematical models were used to predict future levels of labor productivity for subsequent years. The presented models demonstrated high prediction quality.

Keywords: forecasting, statistical parameters, labor productivity, tools, mathematical models.

Введение

Производительность труда (ПТ) является важным показателем, который включает: степень использования трудового потенциала; эффективность производства товаров и услуг; уровень развития экономики. Он является важнейшим индикатором экономического состояния различных стран.

Для уровня технологического развития общества ПТ является интегральным измерителем, который тесно коррелирует с уровнем благосостояния общества, конкурентоспособностью и экономическим ростом.

Повышение ПТ является важнейшей задачей на всех уровнях развития экономики и социальной сферы. Россия в настоящее время уделяет пристальное значение уровню развития производительности труда. При этом она занимает низкие позиции по этому показателю среди стран ОЭСР.

ПТ является обобщающим фактором применения рабочей силы и служит одним из основных критериев и инструментов: уменьшения расходов; увеличения прибыльности предприятия; обеспечения его конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках.

Зная динамику роста ПТ появляется возможность наилучшим образом использовать материальные, технологические, финансовые, трудовые и другие ресурсы, а также будет способствовать экономическому и социальному развитию страны.

ПТ тесно связана с конкурентоспособностью национальной экономики страны. Разработка математических моделей и информационных технологий для предсказания такого важного для экономического развития различных стран уровня ПТ представляется весьма актуальным и своевременным.

Требуется провести анализ и изучить проблему прогнозирования производительности труда математическими методами и моделями в условиях развития информационного общества.

Постановка проблемы

В работе разрабатывались и анализировались линейные и нелинейные трендовые модели для предсказания уровня ПТ, который измерялся в долл. США. Экспериментальные данные для анализа динамики ПТ были взяты из статьи [1, с. 12]. Графическая интерпретация исходных данных представлена ниже (рис. 1).

В работе применялись различные математические модели и инструментальные средства их поддержки.

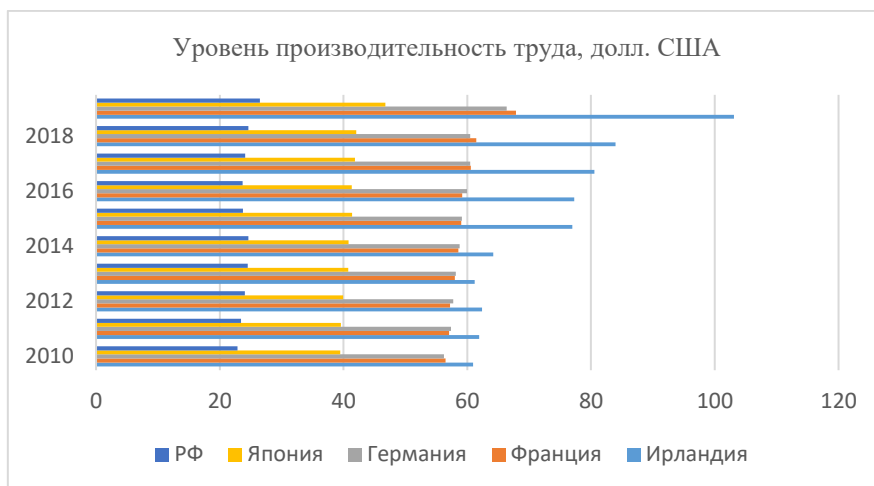


Рисунок 1 – Исходные данные

В таблице 1 отражены качественные показатели разработанных математических моделей. Инструментальные программные средства, разработанные в [2, с. 105; 3, с. 167], позволили выявить наилучшие трендовые модели.

Таблица 1 – Статистические параметры

Временной ряд	MSE	$RMSE$	R^2	F	MAE	$MAPE$	Качество прогноза	Страна
$Y = 60,242 + 0,3628t + 0,0187t^2 + 0,034t^3$	10,9	3,29	0,94	29,5	2,53	3,3	96,7	Ирландия
$Y = 53,741 + 2,9118t - 0,6549t^2 + 0,0496t^3$	0,48	0,69	0,95	39,3	0,53	0,88	99,1	Франция
$Y = 53,503 + 3,0388t - 0,6267t^2 + 0,0442t^3$	0,54	0,73	0,92	24,2	0,53	0,88	99,1	Германия
$Y = 37,227 + 2,2412t - 0,4877t^2 + 0,0351t^3$	0,4	0,63	0,89	17,6	0,5	1,2	98,8	Япония
$Y = 20,622 + 2,487t - 0,5213t^2 + 0,033t^3$	0,06	0,24	0,93	27,37	0,211	0,89	99,1	РФ

В работе также использовались алгоритмы простого экспоненциального сглаживания [4, с. 141; 5, с. 162], которые записываются следующей формулой:

$$S_t = \begin{cases} Y_t, & t = 1 \\ \alpha Y_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}, & t > 1 \end{cases}$$

где t - временной период расчета, S_t - сглаженное значение, Y_t - значение временного ряда на период времени t , α - сглаживающий коэффициент.

Коэффициент α выбирается путем разбиения интервала (0, 1) с шагом 0,1 и вычисления для каждого значения сетки средней абсолютной ошибки в процентах. Выбирается такое значение α , которое минимизирует эту ошибку [6, с. 98]. Для Германии показатель $MAPE$ (средняя абсолютная ошибка в процентах) при использовании алгоритма простого экспоненциального сглаживания оказался равным 1,88

для наилучшего коэффициента сглаживания равного 0,9. При этом точность прогноза вычисляется по формуле 1- $MAPE$ и равна 98,12.

Для Франции показатель $MAPE$ при использовании алгоритма простого экспоненциального сглаживания оказался равным 2,08 для наилучшего коэффициента сглаживания равного 0,9. При этом точность прогноза равняется 97,92.

Для Ирландии показатель $MAPE$ при использовании алгоритма простого экспоненциального сглаживания оказался равным 5,76 для наилучшего коэффициента сглаживания равного 0,9. При этом точность прогноза равняется 94,24.

Для Японии показатель $MAPE$ при использовании алгоритма простого экспоненциального сглаживания оказался равным 1,89 для наилучшего коэффициента сглаживания равного 0,9. При этом точность прогноза равняется 98,11.

Для России показатель $MAPE$ при использовании алгоритма простого экспоненциального сглаживания оказался равным 1,67 для наилучшего коэффициента сглаживания равного 0,9. При этом точность прогноза равняется 98,33. Показано, что алгоритмы простого экспоненциального сглаживания по статистическим характеристикам оказались хуже, чем модели, представленные в таблице 1.

В таблице 2 представлены результаты прогноза уровня производительности труда на 2021 год по разработанным моделям.

Таблица 2 – Результаты прогноза

Страна	Истинное значение	Прогнозное значение	Относительная ошибка
Ирландия	128,21	108,8715	15,08
Франция	85	68,2833	19,67
Германия	68,3	66,1521	3,14
Япония	50,8	46,5652	8,34
РФ	30,3	25,981	14,25

Представленные модели дают возможность проследить динамику поведения уровня производительности труда в перспективе на последующие годы. Данные модели имеют хорошие статистические свойства, что позволяет применять их в практической деятельности.

Проведенные научные изыскания позволили весьма эффективно описывать динамику ПТ и открывают большие перспективы для принятия оптимальных решений в области устойчивого развития этой сферы. Дальнейшие исследования связаны с созданием баз данных по уровню производительности труда и разработкой программных интерфейсов, позволяющих наполнять базу данных новыми сведениями и осуществлять прогнозные действия по оптимальным математическим моделям.

Заключение

В ходе проведенных исследований выявлено, что представленные экономико-математические модели и их качественные характеристики позволяют применять их в практической деятельности для предсказания уровня производительности труда для стран членов ОЕСР.

Литература

1. Наседкина Л.В., Чирухина Т.К. Факторы и стимулы роста производительности труда на современных промышленных предприятиях России // ЭНИГМА. – 2021. - № 29-1. – С. 11-20.
2. Осипов А.Л. Эконометрический анализ временных рядов для оценивания индекса человеческого развития // Наука Красноярья. - 2021. -Т. 10. - № 2-3. - С. 103-108.
3. Осипов А.Л., Мельчукова Л.В., Соболева И.А. Предсказание уровня производительности труда в различных странах с помощью эконометрических моделей // Наука Красноярья. - 2021. -Т. 10. - № 5-2. - С. 165-170.
4. Осипов А.Л., Герашенко М.М. Оценка уровня удовлетворенности персонала образовательных организаций с помощью эконометрических моделей // Сибирская финансовая школа. - 2022. - № 1 (145). - С. 138-145.
5. Ахметшина А.А. Краткосрочное прогнозирование ВВП с помощью метода экспоненциального сглаживания // Молодой ученый. - 2019. - № 50 (288). - С. 161-163. - URL: <https://moluch.ru/archive/288/65080/> (дата обращения: 04.06.2024).
6. Бармина С. С., Таджибаева Ф. М., Тумбинская М. В. Корреляционный анализ и прогнозирование SYN-флуд атак // Прикладная информатика. – 2018. - Том 13. - №4 (76). – С. 93- 102.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ОТЧЕТА НА СООТВЕТСТВИЕ НОРМАТИВНЫМ
ТРЕБОВАНИЯМ

Разин А.В.
МГТУ им. Н. Э. Баумана,
+7 (937) 075-54-39, razin.andrew.ru@mail.ru

Статья посвящена разработке базы данных для хранения и обогащения обучающей выборки данных для ПО, выполняющего автоматизированную проверку технических отчетов на соответствие нормативным требованиям. Основная проблема, с которой сталкиваются нормоконтролеры и студенты в университете, — большое время проверки отчетов. Это связано с отсутствием автоматизации проверки элементов отчетов студентов на соответствие ГОСТ: таблиц, формул, рисунков, в т.ч. схем алгоритмов. В статье приведены диаграммы проверки отчета предложенным ПО, ER-диаграмма базы данных для обогащения обучающей выборки, а также последовательность действий по формированию списка ошибок, допущенных в отчете.

Ключевые слова: база данных, ГОСТ, автоматизация, обучающая выборка, нормоконтроль, задача детекции изображений.

Developing a database for the training dataset enrichment system for automated report verification for compliance with regulatory requirements. Razin A.V., BMSTU.

This article is devoted to developing a database for storing and enriching the training dataset for software which automates technical reports verification for compliance with regulatory requirements. Long time of verification is the key problem faced by regulations compliance inspectors and students in universities. It is due to the lack of automation for checking elements of students' reports for compliance with standards: tables, formulas, figures, including algorithm schemes. This article provides a diagram of report verification by the software under development, an ER-diagram of the database for the training dataset enrichment, and considers the solution of the task of forming a list of errors detected in a report by the software under development.

Keywords: database, GOST, automation, training dataset, regulations compliance verification, image detection.

Введение

Во время обучения студентам регулярно приходится писать отчеты к различным видам работ (курсовые, лабораторные, научно-исследовательские работы и т. д.), при этом оформление работ должно соответствовать ГОСТ, что необходимо своевременно проверять и при необходимости отправлять отчет на доработку, однако количество студентов намного превышает количество нормоконтролеров, таким образом для ускорения процесса проверки возможно использование автоматических систем проверки.

В данной статье будет спроектирована база данных (БД) для обогащения обучающей выборки для системы автоматизированной проверки отчетов, будут выделены роли пользователей. Будут рассмотрены существующие методы автоматизации проверки отчетов, определена необходимая функциональность ПО, будет разработана схема работы данного ПО (системы).

Существующие средства автоматизации

Для автоматизации проверки выпускных квалификационных работ (ВКР) студентов на соответствие стандартам существует ряд приложений: ВКР-СМАРТ, TestVkr, Applitools visual testing [1, 2, 3]. Данные системы позволяют проверять текст работ или изображения в отчете, однако ни одна из них не позволяет проверять основные элементы работы (таблицы, формулы, рисунки), см. табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение существующих средств автоматизации

Критерий	ВКР СМАРТ	TestVkr	Applitools
Проверка текстов	Да	Да	Нет
Проверка изображений	Нет	Нет	Да
Наличие общего хранилища работ	Да	Да	Нет
Возможность запуска локально	Нет	Да	Да

Формализация сдачи работы студента

Автоматизация выделения ошибок в ходе проверки отчета позволит сократить временные ресурсы, выделяемые нормоконтролером на проверку отчетов студентов. Однако полностью отказаться от финального контроля результатов человеком невозможно. Выделены две роли пользователей разрабатываемого ПО по проверке отчетов на соответствие ГОСТ: студент и нормоконтролер.

Студент отправляет отчет на проверку, а затем получает результат со списком ошибок (при наличии). Нормоконтролер анализирует составленный автоматической системой отчет и при необходимости может внести в него правки. На диаграмме на рис. 1 представлено взаимодействие системы проверки отчетов, нормоконтролера и студента. Диаграммы процесса проверки отчетов и состояний отчетов даны на рис. 2–3. Использование автоматической проверки отчетов на соответствие ГОСТ и дополнительным требованиям позволит сократить временные затраты на проверку отчетов.

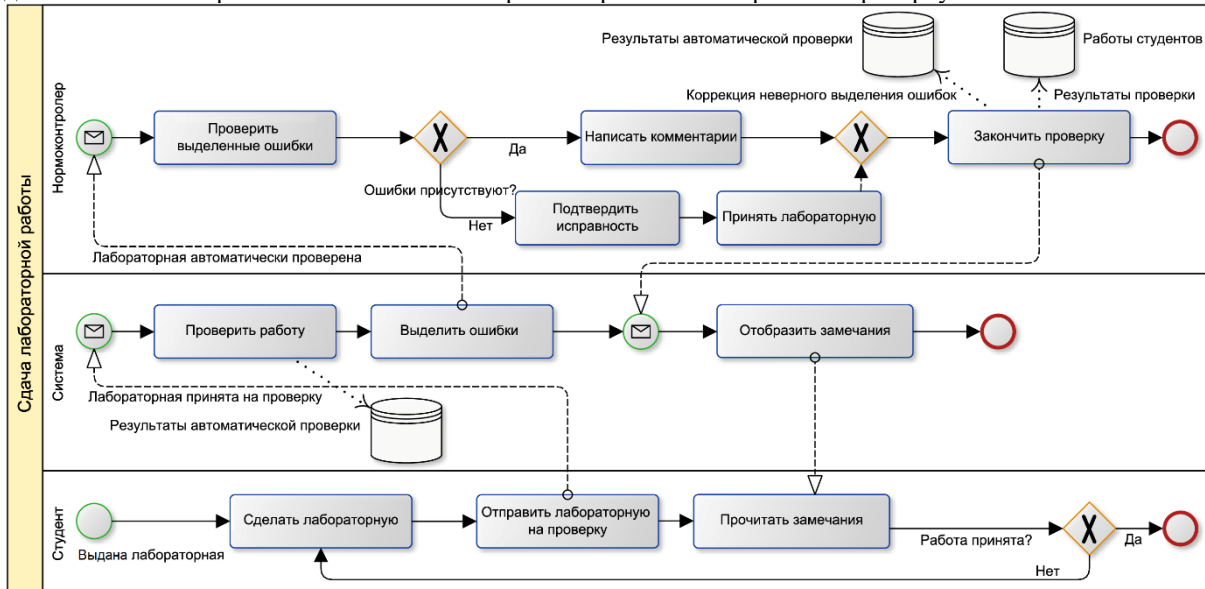


Рисунок 1 – BPMN 2.0 диаграмма сдачи лабораторной работы



Рисунок 2 – Диаграмма последовательности действий проверки отчета

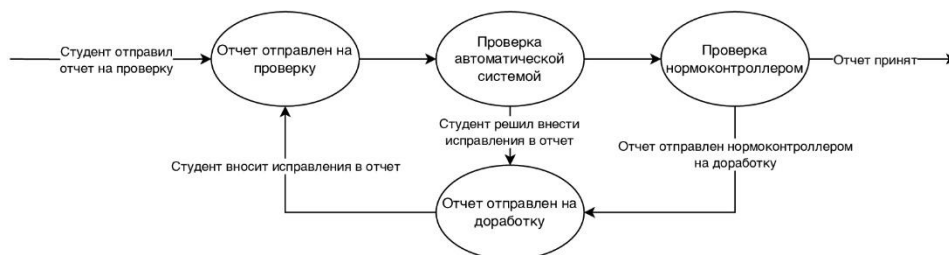


Рисунок 3 – Диаграмма состояний отчета о выполненной работе

Формализация работы системы для проверки отчетов студентов

Системе автоматической проверки необходимо проверить на правильность составные части отчета, что подразумевает детекцию таблиц, формул, рисунков (в т. ч. содержащих схемы алгоритмов), списка используемых источников [0]. После получения данной части изображения возможно использование средств компьютерного зрения для автоматической проверки элемента отчета [0].

На рис. 4 представлена функциональная схема детекции составных частей (в нотации IDEF0).

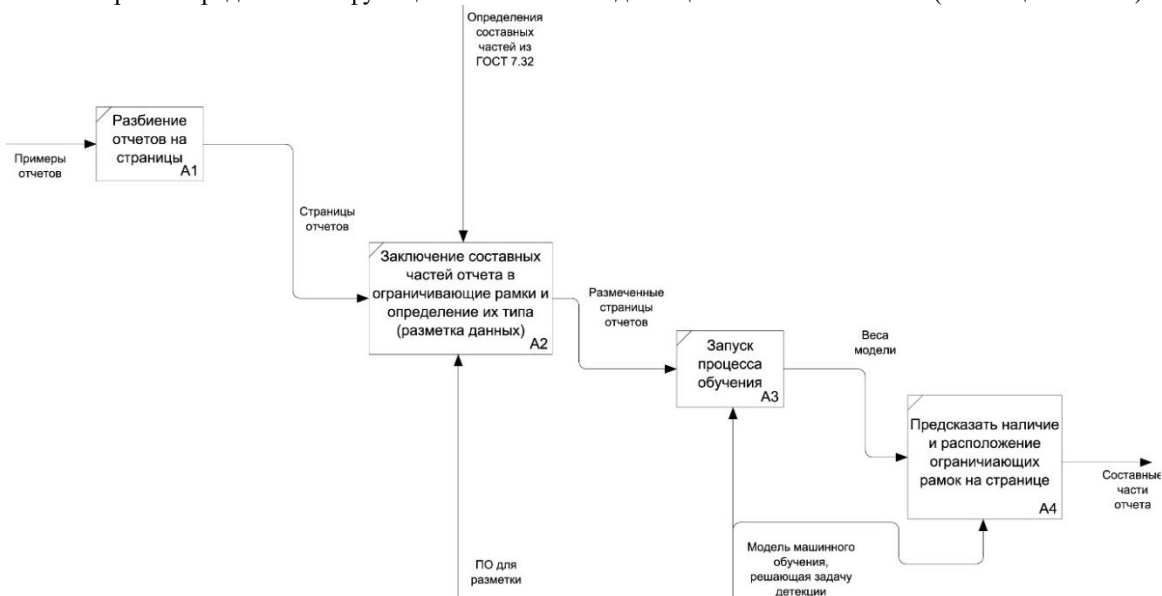


Рисунок 4 – Функциональная схема обнаружения составных частей отчета

После решения задачи детекции необходимо проверить составные части на соответствие ГОСТ или иному стандарту (в данном случае — ГОСТ 7.32). Стоит отметить, что финальный вердикт о валидности работы должен выноситься экспертом [0], здесь в его роли выступает проверяющий преподаватель. На рис. 5 представлена функциональная схема проверки частей отчета (нотация IDEF0).

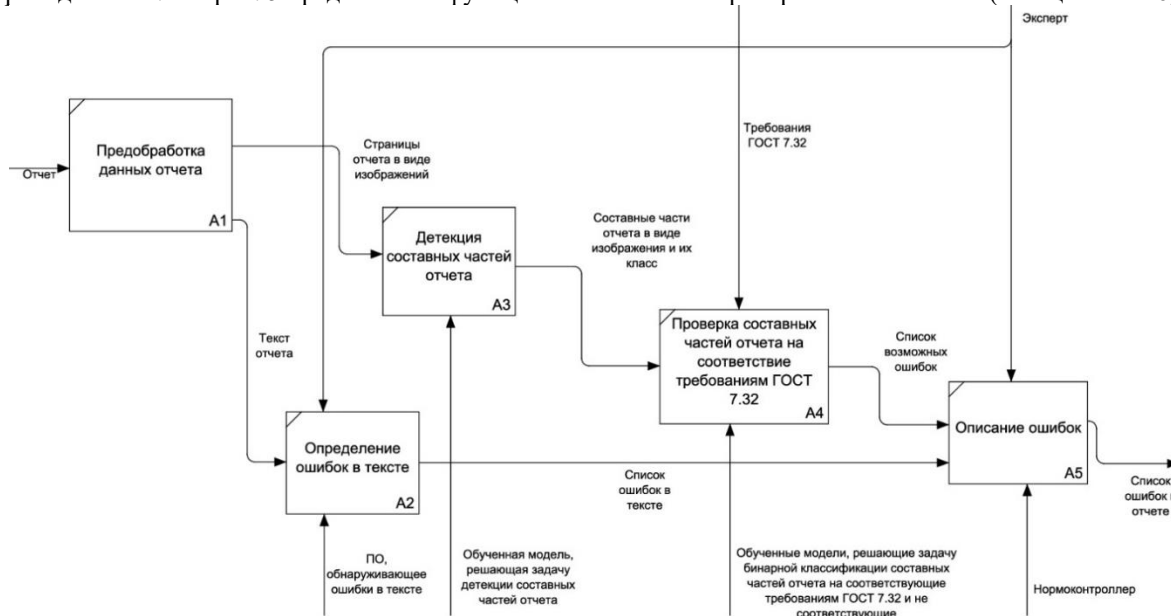


Рисунок 5 – Функциональная схема проверки частей отчета на соответствие ГОСТ 7.32

Стоит отметить, что результат детекции может быть невалидным (в результате может быть выделена не та часть изображения, задетектирован неверный класс), в таком случае для обогащения выборки валидными данными необходима работа разметчика, который будет валидировать информацию, добавляемую в базу данных. Была составлена схема работы системы в нотации BPMN 2.0: в данном случае студент отправляет версию работы в файле формата pdf, после чего получает список ошибок; детектированные элементы отчета вкупе с выделенными ошибками попадают в базу данных.

Проектирование БД

Составленная диаграмма сущностей и связей представлена на рис. 6. Рассмотрим их подробно.

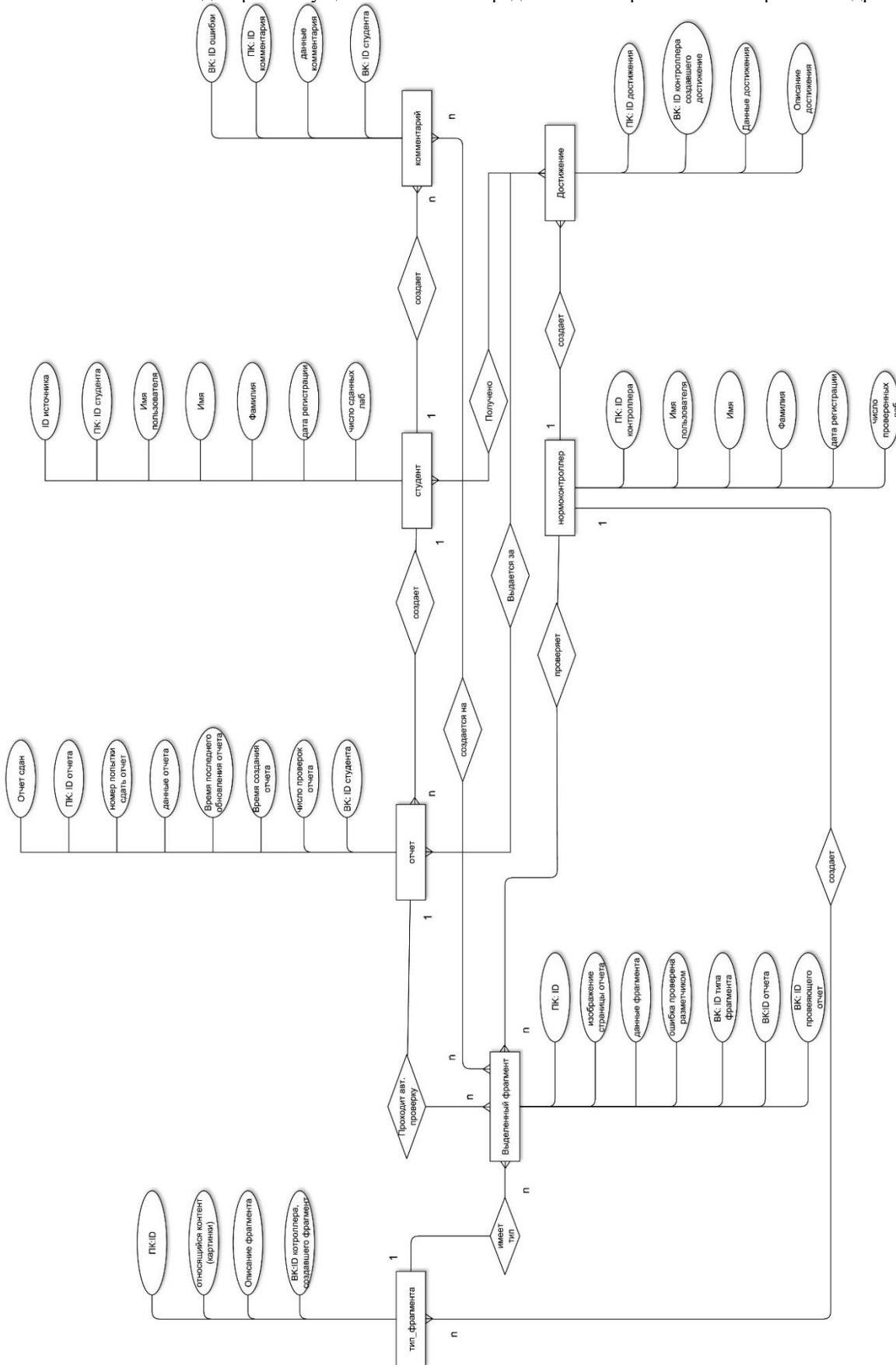


Рисунок 6 – Диаграмма сущностей и связей в нотации Чена

1. Студент. Имеет уникальный идентификатор для связи со сданными отчетами, комментариями.
2. Нормоконтролер. Имеет уникальный идентификатор для связи с проверенными отчетами и созданными ошибками.
3. Выделенный фрагмент — сущность ошибок в отчетах студентов. Хранит страницу отчета с ошибкой, данные, указывающие на местоположение ошибки, а также 2 типа фрагмента — тип ошибки и класс части отчета, полученного в результате детекции, также хранит метаданные о проверке данной разметки преподавателем и валидности данной разметки в случае, если исправить детекцию невозможно.
4. Тип фрагмента — сущность типов ошибок. Хранит описание ошибки.
5. Отчет. Хранит все страницы попытки сдачи отчета, а также время сдачи и номер попытки сдачи, а также сдан ли отчет, проверен или находится в состоянии проверки);
6. Комментарий — сущность комментария студента о ошибке. В случае ошибки преподавателя возможно указать на это. Кроме данных комментария, хранит идентификатор создавшего его студента.
7. Достижение — сущность «награды» для выдачи студентам, преуспевающим в выполнении лабораторных работ. Хранит идентификатор студента, которому выдали «награду», а также идентификатор отчета, за который было получено достижение. Элемент геймификации обучения [7].

Для обогащения обучающей выборки будут использованы выделенные фрагменты, хранимые в спроектированной базе данных, увеличение обучающей выборки позволит гипотетически улучшить результат детекции, что позволит уменьшить число ошибок системы.

Заключение

Предложенный метод позволяет проверять документы не только на соответствие ГОСТ, но и на иные стандарты, для чего необходимо изменить только часть системы, ответственную за детекцию, и формализовать требования. Определена функциональность ПО для автоматической проверки отчетов, описаны схемы его работы. Автоматическая проверка отчетов на соответствие ГОСТ и дополнительным требованиям позволит сократить временные затраты нормоконтролеров на проверку отчетов.

В перспективе возможно использовать результаты автоматического выделения ошибок для определения как дополнительных баллов за высокое качество выполнения работ, так и дополнительных заданий для проработки того материала, по которому совершены систематические или смысловые ошибки [8] (например, в схемах алгоритмов). Такую функциональность возможно реализовать на основе введенных проверяющим для конкретной дисциплины правил или функций; они же могут использоваться для автоматического расчета баллов при использовании сложных формул при оценке результатов обучения [9]. Также отдельный интерес представляет верификация алгоритмов на материале извлеченных описанным ПО данных, например, на основе сетей Петри [10].

Литература

1. ВКР ВУЗ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.vkr-vuz.ru/> (дата обращения: 03.07.2024).
2. TestVkr [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vkr.bmstu.ru> (дата обращения: 03.07.2024).
3. PdfTest [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://applitools.com/blog/automate-pdf-testing/> (дата обращения: 03.07.2024).
4. What Is Image Recognition [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://builtin.com/artificial-intelligence/image-recognition> (дата обращения: 03.07.2024).
5. Computer vision [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ibm.com/topics/computer-vision> (дата обращения: 03.07.2024).
6. ГОСТ 7.32—2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. — М.: Стандартинформ, 2017. — 35 с.
7. Хруслова Д.В., Ерохина Е.А. Использование элементов геймификации при изучении программирования // Новые информационные технологии в автоматизированных системах: материалы двадцать первого научно-практического семинара. — М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2018. — С. 328–332.
8. Ерохина Е.А., Хруслова Д.В. О классификации ошибок, допускаемых студентами в процессе выполнения контрольных заданий // Новые информационные технологии в автоматизированных системах: материалы семнадцатого научно-технического семинара. — М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2014. — С. 68–69.
9. Ерохина Е.А., Хруслова Д.В. Сравнительный анализ различных методов оценивания результатов обучения / Инженерное образование. — 2018. — № 23. — С. 97–103.
10. Рудаков И.В., Пашенкова А.В. Программный комплекс верификации алгоритмов программного обеспечения с помощью иерархических сетей Петри / Инженерный журнал: наука и инновации. — 2013. — № 2(14). — 10 с.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА И МИКРОКОНТРОЛЛЕРА В ЛЕКЦИОННОМ КУРСЕ

Богодистова Е.С.
Российский университет транспорта (РУТ-МИИТ)

Выполнено сравнение классической микросхемы асинхронного приемопередатчика, который поддерживается чипсетом материнской платы ПК, и модуля UART отечественного микроконтроллера. Приводятся задания для интерактивных экспериментов с последовательным портом ПК, проводимые с использованием компьютерной обучающей программы. Исследование проходит не на модели, а в реальной системе с прямым управлением портом на физическом уровне.

Ключевые слова: универсальный асинхронный приемопередатчик, микроконтроллер, компьютерная обучающая программа-тренажер, интерактивный режим.

Asynchronous transceivers feature comparison in a personal computer and a microcontroller in a lecture course. Bogodistova E.S. Russian University of Transport

Asynchronous transceivers feature comparison in a personal computer and a domestic microcontroller is performed. The tasks for interactive experiments with PC serial port, conducted using a computer training program, are given. The study takes place not on a model, but in a real system with direct port control at the physical level.

Keywords: asynchronous receiver/transmitter, microcontroller, computer training program, interactive mode.

Введение

При изучении схемотехники периферийных устройств представляется полезным рассмотреть универсального асинхронного приемопередатчика (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART), так как подобные средства используются:

- в однокристальных микроконтроллерах для взаимодействия МК с другими цифровыми устройствами и периферией, включая обеспечение «прошивки» программ [1, 2];
- в смарт-картах для связи со считывателем данных;
- для настройки видеокубов мультимедийной презентационной системы (видеостены);
- для настройки сетевого оборудования при подключении компьютера к консольному интерфейсу коммутатора с помощью специального кабеля (Roll-over);
- в беспроводном (wireless) интерфейсе IrDA (Infrared Data Association);
- для связи ПК или другого оборудования с источником бесперебойного питания и решения других задач.

Важным является применение UART в промышленной автоматике для организации физической связи распределенных промышленных контроллеров с измерительными преобразователями сигналов датчиков и исполнительными механизмами и их интеграции в локальную промышленную сеть [3];

Постановка и решение задачи

В настоящее время асинхронные приемопередатчики включаются в состав микроконтроллеров, процессоров цифровой обработки сигнала, реализуются в виде отдельных микросхем, выпускаемых отечественными производителями [4-6].

Представляет интерес сопоставление характеристик асинхронного связного адаптера на базе UART, имеющегося в персональном компьютере, и блока UART микроконтроллера.

Классическим примером микросхемы UART можно считать PC16550D фирмы National Semiconductor [7]. Пример использования UART в микроконтроллере можно рассмотреть на базе продукта компании МИЛАНДР – микросхемы 32-разрядного однокристального микро-ЭВМ с памятью Flash-типа 1986BE9ху, K1986BE9ху, K1986BE9хуК, K1986BE91H4 [4]. Микроконтроллер содержит контроллер интерфейса UART и два модуля, UART1 и UART2. Кроме того, в состав контроллера «... включен кодек последовательного интерфейса инфракрасной (ИК) передачи данных в соответствии с протоколом SIR (SIR – Serial Infra Red) ассоциации Infrared Data Association (IrDA) [4, с. 329]».

Основные результаты сравнения представлены в таблице 1.

Первое отличие модуля – возможность задания нецелых коэффициентов деления опорной частоты в модуле UART МИЛАНДР при формировании скорости передачи, что «позволяет осуществлять обмен данными со стандартными информационными скоростями» [4, с. 336].

Основные варианты параметров инициализации UART, полностью доступные в PC16550D, включают:

- скорость модуляции в Бодах;
- тип контроля по паритету: E (Even) - по четности, O (Odd) – по нечетности, M – фиксация MARK (“1”), S – фиксация SPACE (“0”), N – отключен;
- размер символа (5, 6, 7 или 8 бит);
- количество стоповых бит (1; 2 или 1,5 бита).

В общем случае формула скорости и формата кадра передачи имеет вид: $V [Бод]] / \{E, O, M, S, N\} / \{5, 6, 7, 8\} / \{1; 1,5; 2\}$.

В модуле UART1 МИЛАНДР количество стоповых бит может быть равно только 1 или 2.

Глубина очереди данных буферов FIFO приемника и передатчика одинакова у сравниваемых модуля и микросхемы, и составляет 16 элементов или один элемент, в последнем случае реализуется режим двойной буферизации.

Одинакова разрядность элементов буфера FIFO передатчика, равная 8-ми. Но различна разрядность элементов буфера FIFO приемника. Как указано в табл. 1, в модуле UART1 МИЛАНДР, в буфере FIFO приемника вместе с принятым символом (байтом) и тремя признаками ошибок (ошибки переполнения буфера, контроля паритета, ошибки в структуре сигнала (формата кадра)) фиксируется также признак разрыва линии.

Различным образом задается порог срабатывания прерывания по заполнению («незаполнению») буферов FIFO приемника (передатчика). В микросхеме PC16550D порог срабатывания прерывания задается в прямом виде двумя битами RCVR FIFO Trigger Level (Bytes) в регистре управления FIFO, и может составлять 1, 4, 8, или 14 символов [7, p. 17]. В модуле UART1 МИЛАНДР задается степень (уровень) заполнения или «незаполнения» буферов в виде «на 1/8, 1/4, 1/2, 3/4 или 7/8» [4, с. 330], что означает 2, 4, 8, 12, или 14 байт.

Модуль UART МИЛАНДР допускает 11 маскируемых источников прерываний, в то время как микросхема PC16550D – основные четыре.

В микросхеме доступно независимое задание тактовой частоты приемника и передатчика, то есть, передача и прием с различными скоростями. Встроенный в микросхему контроллер-генератор вырабатывает сигнал синхронизации передачи BAUDOUT, поступающий в схему синхронизации и управления передатчиком и на выход BAUDOUT. Синхронизация приемника производится сигналом по входу RCLK. Сигнал BAUDOUT может быть подан на вход RCLK, если скорость приема равна скорости передачи [7, Figure «Basic Configuration» on p. 1 and text on p. 11].

Номинальное значение частоты внутреннего тактового генератора модуля UART МИЛАНДР составляет 1,8432 МГц; возможен диапазон 1,42 - 2,12 МГц для формирования бит данных с укороченной длительностью в режиме пониженного энергопотребления [4, с. 330]; как уже отмечено, допускается использование нецелых коэффициентов деления частоты, «что позволяет использовать любой опорный генератор с частотой более 3,6864 МГц» [4, p. 329].

К микросхеме PC16550D может быть подключен внешний кварцевый резонатор с частотами в МГц: 1.8432; 3.072; 18.432; обеспечивается скорость передачи до 1,5 миллионов Бод («DC to 1.5M baud» [7, p. 1]).

В микросхеме PC16550D передача сигналов прямого доступа к памяти (ПДП, англ. DMA) для передатчика и приемника осуществляется через два контакта, для передатчика и приемника. При работе в режиме FIFO можно выбрать один из двух типов сигналов DMA для каждого контакта. При работе в режиме 16450 разрешен только режим DMA 0 с одиночной передачей, при которой передача выполняется между циклами шины процессора; режим 1 поддерживает блочный (multi transfer) режим [7, p. 12].

В модуле UART МИЛАНДР имеется блок интерфейса с контроллером ПДП («Интерфейс канала прямого доступа» [4, с. 332]) и также реализуются запросы передачи отдельного символа и блочного обмена данными; причем в модуле они не являются взаимно исключающими, а могут быть инициированы одновременно. При этом длина блока обмена данными зависит от количества незаполненных ячеек FIFO буфера передатчика и количества заполненных ячеек FIFO буфера приемника [4, с. 343].

В микросхеме PC16550D выполняется одно измерение уровня в середине бит-интервала [7, Timing Waveforms, p. 7], повторное измерение делается при ошибке формата кадра в предположении следования стартового бита [7, p. 16].

Модуль МИЛАНДР обеспечивает повышенную надежность при приеме: количество измерений уровня при приеме данных с линии связи составляет три измерения для каждого бита данных, решение принимается по мажоритарному принципу. Стартовый бит считается достоверным при восьми отсчетах, «в противном случае переход в ноль рассматривается как ложный старт и игнорируется» [4, с. 337].

Таблица 1 – Программируемые параметры и особенности модуля UART1 МИЛАНДР и микросхемы PC16550D фирмы National Semiconductor

Параметр микросхемы	МИЛАНДР (модуль UART1)	PC16550D
Коэффициент деления для формирования скорости передачи данных, способ задания	16 + 6 разрядов (целая и дробная часть числа)	16-разрядное целое число
Формула для скорости и формата кадра передачи	$B / \{E, O, M, S, N\} / \{5, 6, 7, 8\} / \{1; 2\}$	$B / \{E, O, M, S, N\} / \{5, 6, 7, 8\} / \{1; 1,5; 2\}$
Глубина очереди данных буферов FIFO приемника и передатчика, элементов	16 или один	16 или один
Разрядность элементов буфера FIFO приемника	12 (8 + 4 – для флагов ошибок и признака разрыва линии)	11 (8 + 3 для флагов ошибок)
Разрядность элементов буфера FIFO передатчика	8	8
Пороги срабатывания прерывания по заполнению («незаполнению») буферов FIFO приемника (передатчика)	2, 4, 8, 12, 14 (буфер заполнен (не заполнен) «на 1/8, 1/4, 1/2, 3/4 или 7/8»)	1, 4, 8, 14
Количество маскируемых источников прерываний	11	4
Частота тактового генератора	Номинальная частота внутреннего тактового генератора 1,8432 МГц. Возможен любой опорный генератор с частотой более 3,6864 МГц	Внешний кварцевый резонатор, частота в МГц: 1.8432; 3.072; 18.432.
Независимое задание тактовой частоты приемника и передатчика	Нет	Да
Режим аппаратного управления потоком данных	Да, реализован в модуле	Реализуем драйвером
Прямой доступ к памяти (ПДП) для приема и для передачи	Имеется блок интерфейса с контроллером ПДП. Запросы передачи отдельного символа и блочного обмена могут быть инициированы одновременно	Формирование запросов ПДП от приемника и передатчика. Одноэлементный либо блочный обмен
Проверка по шлейфу	Да	Да (англ. diagnostic testing)
Количество измерений уровня при приеме данных с линии связи	Три измерения для каждого бита данных; стартовый бит считается достоверным при восьми отсчетах	Одно измерение уровня в середине бит-интервала

Надо отметить особенности загрузки программы в ОЗУ микроконтроллера для исполнения. В режиме UART загрузчика микроконтроллера МИЛАНДР используется периферийный модуль UART2. Для связи по UART2 выбраны следующие параметры канала связи: 9600 (начальная скорость) / N / 8 / 1. Загрузчик не использует режим FIFO UART2; загрузчик всегда выступает в качестве ведомого (Slave), а внешнее устройство, подающее команды – в качестве ведущего (Master) [4, с. 50].

В лаборатории РУТ для интерактивных экспериментов с последовательным портом ПК используется программа-тренажер [8], которая базируется на UART типа 8250 и 16550, реализованном в чипсете. Программа-тренажер обеспечивает доступ к регистрам БИС на физическом уровне.

Для экспериментов задаются различные варианты параметров инициализации БИС UART в соответствии формулой « B [Бод] / {E, O, M, S, N} / {5, 6, 7, 8} / {1; 1,5; 2}».

Задается также одно из значений порога прерывания для FIFO, характерного для PC16550D.

Варианты заданий включают эксперименты с многоуровневой системой прерываний последовательного порта, включающей прерывания по готовности принимаемых данных, состоянию линии приемника, временной задержке FIFO-буфера приёмника (тайм-ауту), готовности буферного регистра передатчика, состоянию модема.

В целом, для задач, перечисленных в таблице 2, требуется провести эксперименты, различные по используемой аппаратуре, режиму обслуживания порта в микропроцессорной системе (МПС) персонального компьютера и режиму работы микросхемы UART.

Таблица 2 – Условия задач для экспериментов

Используемая аппаратура	Режим обслуживания адаптера в МПС	Режим работы микросхемы UART	Номер задачи
Один ПК	Программный поллинг	Самодиагностика (проверка по шлейфу), эмуляция микросхемы 8250	1
		Самодиагностика, FIFO	2
	Ввод/вывод по прерываниям	Самодиагностика, эмуляция 8250	3
		Самодиагностика, FIFO	4
Один ПК и внешняя заглушка	Программный поллинг	Эмуляция 8250	5
		FIFO	6
	Ввод/вывод по прерываниям	Эмуляция 8250	7
		FIFO	8
ПК и мышь (serial mouse)	Ввод/вывод по прерываниям	Эмуляция 8250	9
		FIFO	10
Два ПК и нуль-модем	Программный поллинг	Эмуляция 8250	11
		FIFO	12
	Ввод/вывод по прерываниям	Эмуляция 8250	13
		FIFO	14

На первоначальном этапе предлагается определить перечни регистров, необходимых для инициализации приемопередатчика и для обработки создаваемых в экспериментах ситуаций передачи и приема передаваемых данных.

При подготовке экспериментов требуется:

- рассчитать содержимое регистров делителя при заданных величинах требуемой скорости модуляции и опорной частоты работы микросхемы;
- оценить ошибку в процентах при реализации требуемой скорости в результате округления значений регистров делителя;
- определить коды для записи в регистр управления линией при задании скорости (для доступа к регистрам делителя) и осуществлении передачи.

При выполнении экспериментов необходимо:

- продумать условия и возможности создания в экспериментах ошибок формата, паритета и переполнения, а также формирования сигнала разрыва линии (BREAK);
- создать условия возникновения в регистре состояния линии признаков готовности данных, готовности передатчика, готовности буфера передатчика, индикации сигнала BREAK;
- изучить случаи и создать условия возникновения и маскирования прерываний различных типов;
- изучить работу UART в режиме FIFO и предусмотреть разрешение FIFO в регистре управления FIFO, очистку FIFO буферов передатчика и приемника и задание порога FIFO;
- определить условия возникновения в регистре состояния линии признака ошибки FIFO буфера приемника, готовности передатчика в режиме FIFO.

В экспериментах решаются также задачи:

- проверки работы схемы внутреннего шлейфа микросхемы UART в режиме самодиагностики;
- определения схем одного из предложенных тест-разъемов (заглушек) и нуль-модемных кабелей RS232.

Отметим, что режим прямого доступа UART к памяти в ПК не реализуется.

Обсуждение и заключение

Освоение UART и стандарта RS232 позволяет перейти в лекционном курсе к вопросу построения локальных промышленных сетей на базе интерфейса RS-485. Отдельный интерес представляет микросхема компании МИЛАНДР K5559ИН10, предназначенная для применения «в аппаратуре общего назначения, в качестве приемо-передатчика по стандарту RS-485/422 для организации полудуплексного канала связи по соответствующим стандартам»; отмечается, что области применения микросхемы включают «интеллектуальные датчики; промышленные системы управления; телекоммуникационное оборудование; системы безопасности; измерительное оборудование; сети Profibus и т.д.» [9, с. 2]. Обеспечивается передача информации со скоростью до 500 Кбит/с при максимальной длине линии связи 1,2 км (в случае превышения данной длины используются повторители) и до 2,5 Мбит/с для определенной

группы микросхем этого типа. Допускается параллельное включение до 256 эквивалентных приемопередатчиков на шине.

В целом, обсуждение вопросов асинхронной последовательной связи и выполнение интерактивных экспериментов с последовательным портом, включающих, в частности, освоение на практике многоуровневой системы прерываний, позволяет повысить уровень ИТ компетенций выпускников.

Литература

1. Кузьминов А. Ю. Сопряжение ПК и внешних устройств на базе микроконтроллера по интерфейсу RS232. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 320 с.
2. Кузьминов А.Ю. Связь между компьютером и микроконтроллером. Современные аппаратные и программные средства. М.: Перо, 2018. – 120 с.
3. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2014. – 606 с. – ISBN 978-5-9912-0060-8. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/111051> (дата обращения: 28.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. <https://ic.milandr.ru/upload/iblock/65a/z76ysnhw675i5cdkbciklitx70gwifr2/1986%D0%92%D0%959X.pdf> Спецификация «Микросхема 32-разрядного однокристалльного микро-ЭВМ с памятью Flash-типа 1986BE9ху, К1986BE9ху, К1986BE9хуК, К1986BE91Н4. АО «ПКК Миландр». Версия 3.21.1 от 22.07.2021 (дата обращения 27.06.2024)
5. https://ic.milandr.ru/products/mikrokontrollery_i_protssory/protssory_tsos/k1967vn04bg/#docs_tab Микросхема высокопроизводительного процессора цифровой обработки сигнала с суперскалярной архитектурой К1967ВН04ВГ. АО «ПКК Миландр» (дата обращения 27.06.2024)
6. <https://ic.milandr.ru/upload/iblock/c59/c59afa245c96cf476dee4f4765839478.pdf> Микросхема приёмопередатчика по стандарту RS-232 5559ИН4У, К5559ИН4У, К5559ИН4Н4. АО «ПКК Миландр» Версия 2.6.0 от 12.09.2016 (дата обращения 28.06.2024)
7. <https://www.scs.stanford.edu/09wi-cs140/pintos/specs/pc16550d.pdf> PC16550D Universal Asynchronous Receiver/Transmitter with FIFOs. National Semiconductor Corporation, 1995 (дата обращения 27.06.2024)
8. Богодистова Е. С. Тельнов Г. Г. Эксперименты с периферийными устройствами с помощью компьютерных обучающих программ-тренажеров. Материалы докладов XI Международной научно-практической конференции "ИНФО-2014" ("Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий") – М: НИУ ВШЭ, 2014, с. 50-55.
9. https://ic.milandr.ru/products/mikroskhemy_v_plastikovyykh_korpusakh/k5559in10bu_so_8/#main_tab Спецификация. Микросхема приемопередатчика по стандарту RS-485/RS-422 К5559ИН10АSI, К5559ИН10БSI. АО «ПКК Миландр» Версия 2.12.0 от 06.11.2019 (дата обращения 27.06.2024)

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЕРСОНАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ СТУДЕНТОВ ИТ-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Голицына И. Н.

Казанский (Приволжский) федеральный университет

В статье обсуждается состав и развитие персональной цифровой образовательной среды студентов ИТ-специальностей на примере студентов Казанского федерального университета. По результатам опросов, которые проводились с 2018 года, обсуждается трансформация персональной цифровой образовательной среды студентов, которая развивается в соответствии с трендами развития цифровых технологий.

Ключевые слова: персональная цифровая образовательная среда, технологические средства, информационные образовательные ресурсы, технологии электронного обучения

Transformation of personal digital educational environment of IT students. Golitsyna I. N., Kazan (Volga Region) Federal University

The article discusses the structure and development of the personal digital educational environment for students of IT specialties using surveys of students of the Kazan Federal University since 2018. The transformation of students' personal digital educational environment, developing in accordance with trends in the development of digital technologies, is discussed.

Key words: personal digital educational environment, technological means, the information educational resources, e-learning technologies

Введение

Федеральный проект «Цифровая образовательная среда», направленный на реализацию цифровой трансформации системы образования [1], предусматривает развитие цифровой образовательной среды (ЦОС) в образовательных организациях.

В общем случае под ЦОС образовательной организации можно понимать технологические средства, информационные образовательные ресурсы и педагогические технологии [2].

Параллельно с доступом к ЦОС образовательной организации обучающиеся могут использовать свободный доступ к образовательным и профессиональным ресурсам в сети Интернет, что позволяет каждому из них формировать персональную ЦОС в соответствии с индивидуальными предпочтениями и направлением профессиональной подготовки.

В течение последних лет за счет персональных ЦОС обучающихся образуется образовательная среда, которая расширяется за рамки ЦОС образовательных организаций и является, в частности, одним из инструментов формирования профессиональных компетенций [3]. Состав персональной ЦОС ИТ-студентов определяется:

- современным уровнем развития и доступностью технологических средств;
- степенью доступа к информационным образовательным ресурсам;
- технологиями электронного обучения, которые студенты используют самостоятельно для достижения учебных целей.

С течением времени персональная ЦОС каждого студента изменяется под влиянием развития технологий. В данной статье рассматривается трансформация персональной ЦОС на примере студентов ИТ-специальностей Казанского федерального университета.

Для исследования в статье использованы следующие опросы студентов ИТ-специальностей:

- 3 и 4 курсы направлений бакалавриата 09.03.02 Информационные системы и технологии и 09.03.03 Прикладная информатика - 96 респондентов, 2018 год [4];
- 4 курс направления бакалавриата 09.03.04 Программная инженерия - 60 респондентов, апрель 2021 года;
- 4 курс направления бакалавриата 09.03.04 Программная инженерия – 75 респондентов, апрель 2024 года.

Персональная цифровая образовательная среда ИТ-студентов

Рассмотрим каждый из компонентов персональной ЦОС, которые студенты используют в рамках традиционного образовательного процесса в университете.

Технологические средства

В качестве примера использования технологических средств в учебном процессе можно рассмотреть использование студентами мобильного интернета. Все студенты, обучающиеся в рамках различных направлений ИТ-подготовки, используют в учебном процессе за рамками ЦОС университета личные персональные компьютеры и мобильные устройства, работающие на основе персонального доступа в интернет.

Диаграмма, в которой приведены результаты ответов студентов (в % к числу респондентов) на вопрос: «Какие формы мобильного интернета Вы используете в учебном процессе?» в 2018, 2021 и 2024 годах, показана на рис. 1.

Номера на рисунке соответствуют следующим ответам: поисковые системы (1), Википедия (2), облачные ресурсы для хранения данных (3), мобильный доступ в университетскую библиотеку (4), электронные учебники (5), социальные сети (6), мессенджеры (7), специализированные форумы по программированию (8), интегрированные среды разработки (9), ресурсы по решению математически задач (10).

Очевидно, что в течение ряда лет большинство студентов активно используют в учебных целях интернет на своих устройствах для мобильного доступа к различным образовательным и профессиональным ресурсам.



Рисунок 1 – Использование студентами мобильного интернета в учебном процессе

Информационные образовательные ресурсы

Основу ЦОС учебного заведения составляют образовательные ресурсы, которые предоставляются университетской библиотекой, а также учебные пособия, разработанные преподавателями или рекомендованные ими для изучения конкретной дисциплины.

Как видно из рис.1, студенты мало используют ресурсы университетской библиотеки (ответ 4), но активно пользуются открытыми ресурсами. К наиболее популярным относятся поисковые системы (ответ 1), мессенджеры (ответ 7), социальные сети (ответ 6), Википедия (ответ 2), электронные учебники (ответ 5), облачные ресурсы для хранения данных (ответ 3).

В таблице 1 приведены результаты ответов студентов в 2018 и в 2024 годах (в % к числу респондентов) на вопросы, связанные с использованием в учебном процессе традиционных элементов ЦОС университета.

Из таблицы можно заключить, что при использовании традиционных учебных ресурсов студенты больше опираются на конспекты лекций и семинаров, меньше на учебные пособия, и можно отметить только незначительный рост доступа в последнее время к ресурсам университетской библиотеки.

Значительную роль в учебном процессе играют коммуникации студентов друг с другом, которые они отмечают при подготовке ко всем видам учебной деятельности, в том числе и при решении проблемных задач и ситуаций.

Таблица 1 – Количество студентов (в %), использующих в учебном процессе традиционные учебные ресурсы в 2018 и 2024 гг.

Традиционные учебные ресурсы в ЦОС	Конспекты лекций или семинаров		Учебные пособия, рекомендованные преподавателем		Обсуждение учебных вопросов с однокурсниками		Ресурсы университетской библиотеки	
	2018	2024	2018	2024	2018	2024	2018	2024
Где Вы находите учебный материал при подготовке к занятиям?	60,4%	50,7%	47,9%	36%	49 %	58,7%	7,3%	9,3%
Как Вы готовитесь к зачетам и экзаменам?	78,1%	92%	74%	44%	74%	76%	5,2%	9,3%
Какие источники Вы используете для решения проблемных ситуаций или задач?	-	-	-	-	71%	64%	4,2%	13,3%

В таблице 2 приведены результаты ответов студентов в 2018 и в 2024 годах (в %) на вопросы, связанные с использованием в учебном процессе электронных ресурсов, которые находятся за пределами ЦОС университета.

Таблица 2 – Количество студентов (в %), использующих в учебном процессе открытые интернет-ресурсы в 2018 и 2024 гг.

Электронные образовательные ресурсы	Электронные учебники		Электронные справочники		Статьи Википедии		Специализированные форумы	
	2018	2024	2018	2024	2018	2024	2018	2024
Вопрос/Год	2018	2024	2018	2024	2018	2024	2018	2024
Где Вы находите учебный материал при подготовке к занятиям?	51,0%	49,3%	50%	56%	55,2 %	37,3%	38,5%	64%
Как Вы готовитесь к зачетам и экзаменам?	60,4%	54,7%	57,3%	68%	40,6%	32%	28,1%	41,3%
Какие источники Вы используете для решения проблемных ситуаций или задач?	50%	30,7%	-	-	-	-	37,5%	74,7%

Из таблицы можно заключить, что большая часть студентов активно использует в учебном процессе открытые интернет-ресурсы при подготовке ко всем видам учебной деятельности. За последние годы снизилась популярность Википедии, но существенно вырос процент использования специализированных форумов, на которые студенты обращаются для решения различных образовательных задач.

Как отмечено выше, решение проблемных ситуаций и задач студенты широко обсуждают с однокурсниками, для этого они стали меньше использовать электронные учебники и чаще обращаются на специализированные форумы, а также несколько чаще стали использовать ресурсы библиотеки.

Педагогические технологии

Все большее место в современном учебном процессе наряду с традиционными педагогическими технологиями занимают технологии электронного обучения, которые развиваются в рамках концепции Образование 4.0 (Education 4.0) – образования для подготовки специалистов для Индустрии 4.0 (Industry 4.0) [4]. Следует отметить, что повсеместный переход на дистанционный формат обучения привлек внимание педагогического сообщества и организаторов образования к электронному обучению, однако мало повлиял на использование электронного обучения студентами ИТ-специальностей, которые в течение последних лет активно используют эти технологии независимо от образовательных организаций.

Параллельно с появлением новых трендов в развитии информационных технологий появляются и новые технологии электронного обучения [5].

После всеобщего карантина повсеместное распространение получило дистанционное обучение; совмещение дистанционного обучения и традиционных педагогических технологий привело к развитию технологий смешанного и гибкого обучения, которые стали активно использоваться преподавателями.

В настоящее время широкое распространение получило мобильное обучение, которое развивалось в основном независимо от педагогического сообщества, также, как образовательная самоорганизация студентов в социальных сетях.

В традиционном учебном процесс студенты используют элементы неформального обучения, которое является частью обучения в течение всей жизни (lifelong learning).

Развитие общедоступных технологий создает условия для самообразования студентов, на рис. 2 показана диаграмма, в которой приведены результаты ответов студентов (в %) на вопрос: «Занимаетесь ли Вы самообразованием?» в 2018, 2021 и 2024 годах.

Номера на рисунке соответствуют следующим ответам: «не занимаюсь» (1), «посещаю курсы» (2), «учусь на учебных курсах онлайн» (3), «посещаю специализированные форумы» (4), «читаю специализированные книги или учебники» (5), «использую форумы для изучения языков программирования» (6), другое (7).



Рисунок 2 – Самообразование студентов

Как видно из диаграммы, в течение ряда лет большая часть студентов занимается самообразованием. Чаще всего для самообразования используются специализированные книги и учебники (ответ 5). Студенты самостоятельно изучают языки программирования на специализированных ресурсах (ответ 6), используя документацию от поставщиков средств разработки программного обеспечения.

Студенты учатся онлайн на курсах (ответ 3), среди которых курсы на образовательных платформах Stepik, Ulearn, Udemy, сервисах онлайн-образования от Яндекса: Яндекс Образование и Яндекс Практикум, на платформе образовательного проекта Сбербанка Школа 21; называют студенты и образовательные ресурсы на YouTube.

Часть студентов посещают специализированные форумы (ответ 4), среди которых наиболее популярным является Хабр (около 11% респондентов).

Около 20 % студентов в течение ряда лет используют для самообразования сетевые сообщества, главным образом в социальных сетях ВКонтакте и Телеграм.

Развитие технологий искусственного интеллекта привело к появлению новой технологии электронного обучения, которая называется «Искусственный интеллект в образовании» (Artificial Intelligence in Education - AIEd) [6].

Как показал опрос 2024 года, студенты начинают самостоятельно осваивать эту технологию, в частности, для подготовки к зачетам и экзаменам 4% студентов используют ChatGPT, для решения проблемных ситуаций и задач этот сервис и другие нейросети используют 12% студентов.

Заключение

Как показывает наши исследования, на протяжении нескольких последних лет студенты ИТ-специальностей на основе существующей технологической инфраструктуры формируют персональную цифровую образовательную среду, на развитие которой существенно не повлиял повсеместный переход на дистанционный формат обучения. Опросы, проведенные в течение последних лет, позволяют заключить, что в соответствии с развитием информационных технологий происходит трансформация персональной ЦОС студентов ИТ-специальностей, которая приводит к следующим изменениям в учебном процессе:

- Для подготовки к учебным занятиям, зачетам и экзаменам студенты в меньшей степени используют ресурсы ЦОС университета и университетской библиотеки, чем открытые информационные ресурсы.
- Персональная ЦОС студентов служит средством персонализации обучения в соответствии с целями образования и личными предпочтениями.
- На основе доступа к профессиональным сообществам и ресурсам студенты активнее интегрируются в цифровую профессиональную среду, используя ее в том числе для решения учебных задач.
- Начинается внедрение в образовательный процесс новой технологии электронного обучения «Искусственный интеллект в образовании» (AIEd).

Литература

1. Федеральный проект «Цифровая образовательная среда» // Минпросвещения России. - 2019. - URL: <https://edu.gov.ru/national-project/projects/cos/> (дата обращения 30.03.2024)
2. Голицына И. Н. Персональная цифровая образовательная среда в подготовке ИТ-специалистов // V Международный форум по математическому образованию, посвященный 220-летию Казанского университета (IFME' 2024), Казань, 25-30 марта 2024 г. [Электронный ресурс]: - Казань, Издательство Казанского университета, 2024. – С. 306-311.
3. Голицына И.Н. Формирование профессиональных компетенций ИТ-специалистов в электронной информационно-образовательной среде // Международный электронный журнал «Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society) “. - 2015. - Т.18. - №4. – С.744-752.
4. Golitsyna I., Eminov F., Eminov B. Teaching/Learning Strategies in Context of Education 4.0// Adv. Sci. Technol. Eng. Syst. J. - 2021. - 6(2). – P. 472-479.
5. Голицына И.Н. Технологии электронного обучения в современном информационном обществе // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XX Международной научно-практической конференции. – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2023. - С.27-31.
6. Ouyang F., Jiao P. Artificial intelligence in education: The three paradigms // Computers and Education: Artificial Intelligence. - 2021. – No. 2 - 6 p.

О ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВАХ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ушкова Н.Н.¹, Чесалин А.Н.¹, Гродзенский С.Я.²
¹РТУ МИРЭА, ²РГСУ

Исследуются теоретические основы формирования ИТ компетенций и трансформации известных таксономий целей обучения в компетентностные модели основных образовательных программ вузов. Указано на необходимость использования специальной системы управления компетенциями в области информационных технологий.

Ключевые слова: ИТ компетенции, таксономии, учебный процесс.

On the theoretical foundations of the formation of competencies of educational programs in the field of information technology. Ushkova N.N.¹, Chesalin A.N.¹, Grodzensky S.Ya.², ¹RTU MIREA, ²RSSU.

The theoretical foundations of the formation of competencies and the transformation of the well-known taxonomy of learning goals into competence models of the main educational programs of universities are studied. The necessity of using a special competence management system in the field of information technology is indicated.

Keywords: IT competencies, taxonomies, learning process.

Теоретические основы формирования компетенций

В 1956 году группа учёных из Чикагского университета под руководством известного психолога Бенджамина Блума (Benjamin Bloom, 1913-1999) предложила способ классификации образовательных целей, которая после дискуссии стала называться таксономией (от др.-греч. τάξις – строй, порядок и νόμος – закон). Таксономия Блума получила широкое распространение и стала теоретической основой систематизации формирования компетенций [1]. Первоначально разработанная модель касалась только когнитивной области, то есть освоения знаний. Таксономия по Блуму состоит из шести уровней (рис. 1), построенных по принципу «от простого к сложному», каждый из которых включает в себя ряд предполагаемых действий:



Рисунок 1 – Таксономия Блума

Позднее были разработаны еще две классификации: аффективная (эмоции) и психомоторная (действия). В 2001 году партнер Блума по разработке первоначального варианта таксономии Дэвид Кратвол (David Krathwohl, 1921-2016) и его бывший студент Лорин Андерсон (Lorin Anderson, р. 1945) подготовили обновлённый вариант таксономии, на который повлияло распространение интернета и новых информационно-коммуникационных технологий [2].

Сегодня в мире применяют именно эту обновлённую систему — изменённую и дополненную («revised taxonomy») (рис. 2). Она также содержит шесть уровней, задаваемых в глагольной форме:



Рисунок 2 – Обновлённая таксономия Блума

Иерархию учебных целей принято изображать в виде пирамиды, в основании которой находятся базовые задачи образования и соответствующие им навыки, а на вершине — наиболее трудоёмкие и многокомпонентные. При этом необходимо неукоснительно следовать принципу: прежде, чем переходить к следующему более высокому уровню (ставить перед собой более высокую цель), нужно досконально овладеть предыдущими.

Позднее были созданы дополнительные таксономии, например, профессор университета Оклахомы Л. Ди Финк (L. Dee Fink, р. 1940) в 2003 году предложил «таксономию значимого обучения» [3, 4]. Она включает в себя шесть основных целей обучения (рис.3), каждая из которых содержит междисциплинарное содержание образования:



Рисунок 3 –Таксономия Финка

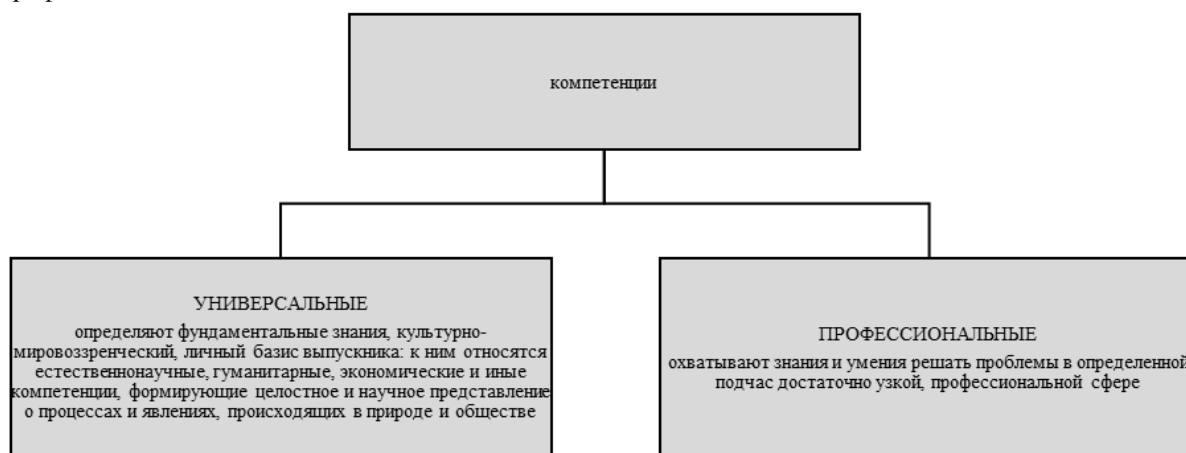
Особенностью таксономии Финка является то, что категории являются циклическими, интерактивными и взаимосвязанными с другими перечисленными элементами. В результате таксономии Финка можно рассматривать как представляющую более целостный взгляд на обучение именно потому, что она признает взаимосвязи между категориями.

Таксономии стали своеобразным фундаментом при построении моделей компетенций образовательных программ в области ИТ как в России, так и за рубежом, являясь их теоретической базой.

В разных странах применяются различные подходы к систематизации ИТ компетенций. Перечислим наиболее популярные: Стандарт европейских профилей ИКТ-сектора (CEN/CWA 16458 Information technologies. European ICT professional profiles), e-CF - Европейская рамка ИКТ-компетенций, Методология «Tuning», European Qualifications Framework, EUQuaSIT (European Qualification Strategies in Information and Communications Technology (ICT)), GANFA (European ICT skills framework), SFIA (The Skills Framework for the Information Age), TAFE. В указанных выше подходах так или иначе компетенции подразделяются на уровни в соответствии с рассмотренными выше таксономиями.

Российский концепция формирования компетенций основана на профессиональных стандартах и федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС). В специализированных нормативных документах приводится по возможности полная информация о цели вида деятельности и трудовых (обобщенных) функциях (Трудовые действия, Необходимые умения, Необходимые знания, уровень квалификации).

Российские образовательные стандарты - ФГОС ВПО представляют собой компетентностно-ориентированную модель обучения, в которой компетенции подразделяются на универсальные и профессиональные.



Критерии сформированности компетенций определяются тремя компонентами: знания, умения, владения, которые по сути являются упрощенной версией рассмотренных выше таксономий. Достоинством как российской, так и европейских систем систематизации компетенций являются детальное описание профессий, задач и уровня квалификации. При этом в них не содержится информация о конкретных ИТ и навыках, которыми должны обладать специалисты того или иного профиля.

Возможным вариантом устранения данного разрыва является применение системы управления ИТ компетенциями[5], являющейся связующим звеном между компетентностной моделью учебных планов и конкретными ИТ компетенциями (ИТ технологиями), понятными представителям ИТ индустрии.

Заключение

В работе рассмотрены теоретические основы формирования компетенций. Представлены известные таксономии образовательных целей и проанализированы подходы к формированию ИТ компетенций в России и за рубежом. Предложено использование системы управления ИТ компетенций для устранения разрыва между описанием компетенций в учебных планах и конкретных ИТ компетенций, требуемых и понятных ИТ индустрии.

Литература

1. Bloomet B.S. al. Taxonomy of Educational Objectives: Handbook 1, the Cognitive Domain. New York: Longmans, Green, 1956. 403 p.
2. Anderson L.W. and Krathwohl D.R., et al. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. New York: Longman, 2001. 352 p
3. Fink L.D. Creating significant learning experiences: An integrated approach to designing college courses. – San Francisco: Jossey-Bass, 2013. 352 p.
4. Тагунова И.А., Долгая О.И. Междисциплинарное содержание общего образования за рубежом: монография / Тагунова И.А., Долгая О.И. М.: ФГБНУ «Институт стратегии развития образования», 2023. 108 с.
5. Чесалин А.Н., Ушкова Н.Н., Ставцев А.В., Маркарянц В.Ю., Чаругин В.В. Управление компетенциями в области информационных технологий в образовательных организациях высшего образования // «Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты» Сборник трудов Национальной научно-практической конференции. –Москва: РТУ МИРЭА, 2024, с. 737-742.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ ЦЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕТОК

Давтян А.Г., Шабалина О.А.* , Хайров А.В.* , Берестнева О.Г. **

Московский физико-технический институт,

*Волгоградский государственный технический университет,

**Томский политехнический университет

+7 (919) 795-89-43, O.A.Shabalina@gmail.com

В работе предложена модель целей организационной системы, представляемая структурно упорядоченным динамическим пространством целей. Для моделирования пространства применён математический аппарат теории решеток, что позволяет построить исчисление процесса достижения целей в идемпотентной алгебре. Описаны свойства решетки и их интерпретации в контексте свойств пространства целей. Показано, что предложенная модель обладает системными свойствами целостности как общей направленности на исполнение миссии организации, делимости как возможности организации целедостижения и синергизма, как результата достижения цели, не сводящегося к результатам достижения предшествующих целей.

Ключевые слова: организационная система, управление в организационных системах, целеполагание, модель целей, целедостижение, достижимость цели, доступность цели, пространство целей.

Lattice-based dynamic goal spaces modeling. A. Davtian, O. Shabalina*, A. Khayrov, O. Berestneva**, Moscow Institute of Physics and Technology, *Volgograd State Technical University, **Tomsk Polytechnic University

The paper proposes a method for modeling goalsetting in organizational systems. The goal model is represented by a structurally ordered goal space. To model the goal space, the mathematical apparatus of lattice theory is used, which allows constructing a calculus for the process of achieving goals dynamically formed in the system development in idempotent algebra. The properties of the lattice and their interpretations in the context of the properties of the goal space are described. The proposed method for modeling goalsetting allows maintaining the observability and controllability of the organizational system, taking into account possible states that lead to changes in the goal space.

Keywords: organizational system, management in organizational systems, goal setting, goal model, goal achievement, goal achievability, goal accessibility, goal space.

Введение

В условиях развития информационного общества все более широкое применение находят системы поддержки принятия решений (СППР), помогающие руководителям организаций принимать обоснованные управленческие решения в различных сферах деятельности. Установление и структуризация целей управления (целеполагание) и разработка стратегий их достижения (целедостижение) являются ключевыми этапами процесса управления организационными системами [1]. Автоматизация процессов управления в организационных системах требует разработки моделей целей, применимых для поддержки целеполагания и целедостижения и в таких системах.

Постановка задачи

Модели целей, применяемые в системах поддержки принятия управленческих решений описывают состав целей, их характеристики и взаимосвязи. В большинстве случаев полагается, что в процессе функционирования системы состав и структура целей не изменяется и задача управления сводится к организации деятельности по обеспечению достижения установленных целей (рисунок 1).

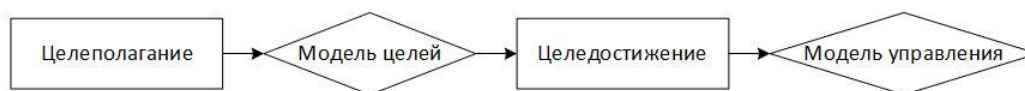


Рисунок 1 – Этапы и результаты процесса управления

Однако функционирование организационных систем направлено на увеличение своего интеллектуального капитала, наращивание материальных и финансовых ресурсов, что может приводить к реформированию миссии, к исполнению которой системы предназначались. Кроме того, любая организационная система функционирует в условиях непрерывного взаимодействия с изменяющейся внешней средой, что также оказывает существенное влияние на текущее состояние системы и динамику ее развития [2]. В таких условиях могут изменяться не только изначально полагаемые цели управления, но и сами целевые ориентации системы в своем окружении [3]. Поэтому функционирование организационной системы следует рассматривать как управляемый процесс ее развития, в котором целеполагание и целедостижение динамически взаимодействуют и взаимоопределяются (рисунок 2).

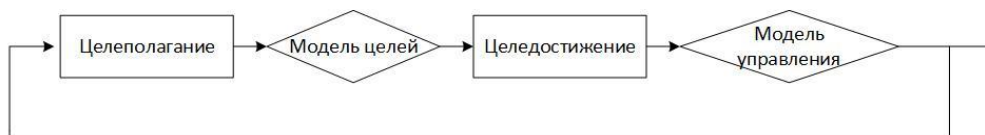


Рисунок 2 – Этапы и результаты процесса управления в условиях динамического формирования модели целей

Решение

Функционирование организационной системы осуществляется в условиях ее непрерывного взаимодействия с окружающей средой, что требует непрерывного наблюдения за поведением системы. При этом происходит внутренняя финализация отдельных действий, необходимая для дальнейшего функционирования системы. Финализация представляет собой завершение этой деятельности, которая определяется как целедостижение, а результаты финализации определяются как цели. Целедостижению предшествует оценка возможности финализации, которая опирается на уже достигнутые результаты, являющиеся также финализацией, т.е. достигнутыми целями. Возникает зависимость доступности получения новых результатов от уже достигнутых результатов. Моделирование процесса управления в таком контексте подразумевает динамическое формирование модели целей, связанных отношением доступности, с учетом текущего состояния системы и ее окружения.

Пусть определено множество целей, установленных в организационной системе для исполнения своей миссии:

$$Objectives = (objective_1, objective_2, objective_3, \dots), \quad (1)$$

где $objective_i$ – i -тая цель, определенная свойствами организационной системы.

Установленные цели связываются антисимметричным бинарным отношением доступности. Пара целей $(objective_1, objective_2)$ связана отношением доступности $objective_2 > objective_1$ если цель $objective_2$ становится доступной только после того, как будет достигнута цель $objective_1$. Доступность цели $objective_1$, является необходимым условием достижимости цели, $objective_2$, но при этом может

оказаться недостаточным. Возможны дополнительные условия, определяющие достижимость цели, которые определяются имеющимися в текущий момент функционирования в организации финансовыми, временными и др. ресурсами, и могут изменяться в процессе развития системы. Такие условия не формализованы в рамках модели и должны устанавливаться руководством организации в зависимости от текущей ситуации.

Структурная модель целей, связанных отношением доступности, представима графом вида:

$$Goal_Structure = \langle Objectives, \leq \rangle, \quad (2)$$

где $Goal_Structure$ – структура целей;

$Objectives$ – множество целей;

\leq – бинарные отношения, определяющие доступность целей.

Структурная модель целей показана на рисунке 3.

Модель целей, представимая графом, позволяет отразить установленный порядок целей относительно принципа доступности. Однако такая модель целей не позволяет отражать свойства подмножеств целей, как необходимого условия функционирования системы. Тем самым для любой совокупности целей необходимо определить их общие свойства, а также определить необходимые условия доступности этих целей в их совокупности. Любое множество целей в их доступности должно обладать свойствами целостности как общей направленности на исполнение миссии организации, делимости как возможности организации целедостижения и синергизма, как свойства результата достижения цели, не сводящегося к результатам достижения предшествующих целей.

Для моделирования системных свойств множества целей, связанных доступностью, как бинарным предпорядком, исходная структура вкладывается в наименьшую решетку (*lattice*), сохраняющую исходный порядок целей, но при этом образующую структурно-упорядоченное пространство и позволяющую построить исчисление процесса достижения целей на пространстве [4].

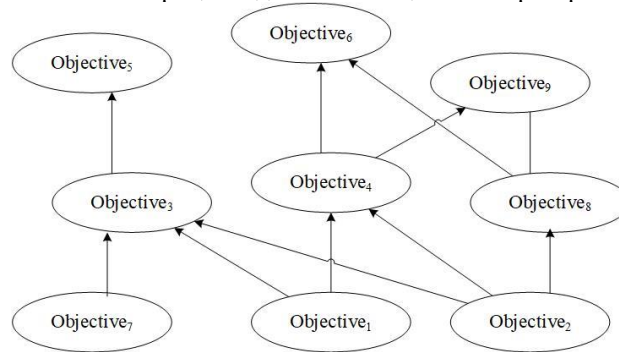


Рисунок 3 – Структурная модель целей

В теории алгебраических структур под решеткой понимают частично упорядоченное множество с двумя идемпотентными бинарными операциями, в котором каждое двухэлементное подмножество имеет как точную верхнюю (*sup*), так и точную нижнюю (*inf*) грани:

$$Space = \langle L, \oplus, * \rangle, \quad (3)$$

где $L = (a, b, c, \dots)$ – множество элементов решетки;

$(\oplus, *)$ – бинарные операции над элементами.

В результате вложения исходной структуры целей в решетку в полученном пространстве в общем случае появляются новые структурные элементы (точные верхние и точные нижние грани подструктур), обеспечивающие структурную упорядоченность («структурную» полноту) пространства. Цели таким элементам в силу их отсутствия в исходной структуре изначально не сопоставлены.

Пример вложения исходной структуры в решетку показан на рисунке 4.

Интерпретации свойств решетки в контексте свойств пространства целей приведены в таблице 1.

Таким образом, модель целей на основе решетки представима структурно-упорядоченным пространством вида:

$$Goal_Space = \langle Objectives^*, \oplus, * \rangle, \quad (4)$$

где $Objectives^*$ – множество элементов пространства $GoalSpace$;

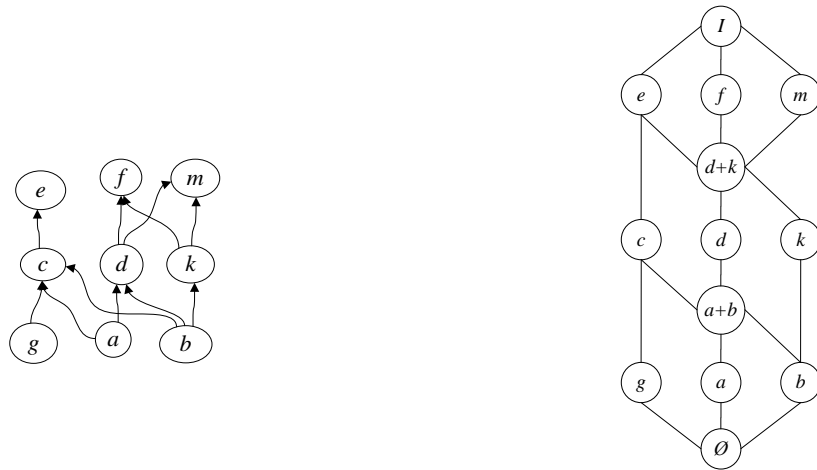
$\oplus, *$ – операции, позволяющие исчислять процесс достижения целей на пространстве.

Множество $Objectives^*$ в общем случае включает два подмножества:

$$Objectives^* = \{Objectives_{pr}, Objectives_{pr}^*\}, \quad (5)$$

где $Objectives_{pr}$ – множество «собственных» элементов пространства $GoalSpace$, которым сопоставлены цели в исходном множестве целей $Objectives$;

$Objectives_{pr}^*$ – множество «несобственных» элементов пространства $GoalSpace$, не имеющих сопоставленным им целям в исходном множестве целей $Objectives$.



а) Исходная структура

б) Решетка (диаграмма Хассе)

Рисунок 4 – Пример вложения исходной структуры в решетку

Степень полноты пространства определяется как отношение количества собственных элементов к общему количеству элементов пространства:

$$Goal_Space_Comp = \frac{|Objectives_{pr}|}{|GoalSpace|}, \quad (6)$$

где $Goal_Space_Comp$ – степень полноты пространства целей;

$|Objectives_{pr}|$ – мощность множества собственных элементов $Objectives_{pr}$;

$|GoalSpace|$ – мощность пространства $Goal_Space$.

Сопоставление целей несобственным элементам пространства повышает «контентную» полноту пространства.

Таблица 1 – Интерпретации свойств решетки в контексте пространства целей

Свойства решетки	Интерпретация в контексте пространства целей
Связность	Целостность
Полнота	
Идемпотентность операций	«Идемпотентность» процесса целедостижения
Структурное подобие	Делимость
Немодулярность	Некомпозиционность
Недистрибутивность	Синергизм

Пример пространства целей, построенного в результате вложения исходной структуры (рис.3) в решетку, и факторизации пространства по признаку достигнутоности целей показаны на рисунках 5,6.

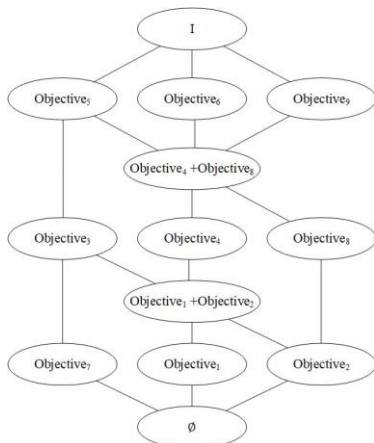


Рисунок 5 – Пространство целей

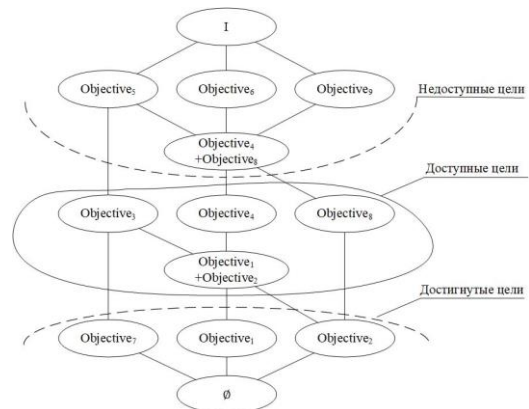


Рисунок 6 – Факторизация пространства по признаку достигнутоности целей

Заключение

Организация процессов управления организационной системой на основе предложенной модели позволяет соотносить вновь формируемое пространство целей с результатами функционирования системы как процесса целедостижения на основе морфизмов, связывающих исходное пространство целей с вновь формируемым. Тем самым возникающая последовательность текущих пространств целей образует процесс исполнения организацией миссии, которая ее создала. Предложенный подход к моделированию целеполагания позволяет сохранять наблюдаемость и управляемость системы в процессе ее функционирования и повышать таким образом качество управления в организационных системах.

Литература

1. Aguilera R., De Massis, A., Fini R., Vismara S. Organizational Goals, Outcomes, and the Assessment of Performance: Reconceptualizing Success in Management Studies. / Journal of Management Studies. 2023. – № 61. 10.
2. Morecroft J. Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach: Second Edition. 2015. 1-466. 10.1002/9781119176831.
3. Давтян А.Г., Шабалина О.А., Садовникова Н.П., Парыгин Д.С. Моделирование целеполагания и целедостижения в социально-экономических системах. / Математические методы в технике и технологиях. – 2020. – № 12 (2). – С. 24-29.
4. Shabalina O. A., Davtian A. G., Sadovnikova N. P., Erkin D. A. A lattice-theoretical approach to modeling naturally ordered structures. / Proceedings of the 2016 Conference on Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM 2016). Ser. "ACSR: Advances in Computer Science Research" Editors: Olga Berestneva, Alexei Tikhomirov, Andrey Trufanov. – 2016. – P. 158–161.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Евдокимова Д.А.

ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»,
+7 (985) 205-75-70, dashkevis@mail.ru

В настоящей статье детально анализируются существующие подходы к моделированию угроз информационной безопасности, которые в настоящее время применяются на практике. Рассматриваются как зарубежные методы, такие как матрицы MITRE ATT&CK и MITRE SHIELD, так и Методика оценки угроз, разработанная ФСТЭК России. Автор выявляет и описывает уникальные характеристики каждого из упомянутых инструментов, используемых для моделирования угроз. В результате проведенного исследования систематизированы как сильные стороны, так и ограничения каждого из данных подходов. На основе полученных данных автор формулирует обоснованные рекомендации, направленные на улучшение текущего метода анализа угроз безопасности информации, опирающегося на Методику оценки ФСТЭК России.

Ключевые слова: кибербезопасность, анализ угроз безопасности информации, Методика оценки угроз безопасности информации, MITRE ATT&CK, MITRE SHIELD.

Comparative analysis of information security threat assessment and modeling methods. Evdokimova D.A., Plekhanov Russian University of Economics,

The article explores different approaches to modeling information security threats, focusing on the use of the MITRE ATT&CK and MITRE SHIELD frameworks, along with methods used by the Federal State Statistics Service of Russia (FSTEC). It details the characteristics of each of these tools for modeling threats and compares their strengths and weaknesses. The author concludes by suggesting ways to enhance the effectiveness of the current threat analysis methods employed by FSTEC, based on the insights gained from these models.

Keywords: cybersecurity, information security threat analysis, Methodology for Assessing Information Security Threats, MITRE ATT&CK, MITRE SHIELD.

Введение

Одним из основных компонентов эффективной системы защиты информации является детальный анализ угроз безопасности. Понимание как существующих, так и потенциальных угроз позволяет разрабатывать стратегии защиты, которые максимально соответствуют специфическим рискам.

Цель данного исследования заключается в проведении всестороннего сравнительного анализа существующих методик моделирования угроз безопасности с целью выявления их преимуществ и недостатков, а также оценки эффективности их применения на практике.

Анализ угроз безопасности информации осуществляется с использованием различных методик оценки. В этом контексте Федеральная служба по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК России) выступает в качестве основного регулирующего органа, отвечающего за информационную безопасность в Российской Федерации. В частности, ФСТЭК России устанавливает требования к анализу угроз безопасности информации и предоставляет два ключевых инструмента для данного анализа: методологию оценки угроз безопасности информации [1] и базу данных угроз безопасности информации [2]. Эти инструменты разработаны для комплексной оценки уязвимостей и угроз, связанных как с программными, так и с аппаратными платформами.

Данная методика обязательна к применению при анализе угроз систем, требованиям по безопасности, которым определяются ФСТЭК России.

Подход ФСТЭК России к оценке угроз безопасности информации основан на проведении следующих мероприятий:

1. определение негативных последствий;
2. инвентаризация информационных активов и определение возможных объектов воздействия угроз безопасности информации;
3. определение источников угроз безопасности информации и оценка возможностей нарушителей по их реализации;
4. оценка способов реализации угроз безопасности информации;
5. оценка возможности реализации угроз безопасности;
6. оценка сценариев реализации угроз безопасности информации.

Этот подход предоставляет возможность разработать сценарий реализации угроз безопасности информации для каждого информационного актива, принимая во внимание как тип и потенциал нарушителя, так и методы осуществления угроз. На рисунке 1 иллюстрируется сценарий реализации угрозы отказа в обслуживании (УБИ.6) как внутренним, так и внешним нарушителем угроз безопасности, применительно к объекту воздействия – преобразователям дискретных сигналов, которые функционируют на нижнем уровне автоматизированной системы управления технологическими процессами.

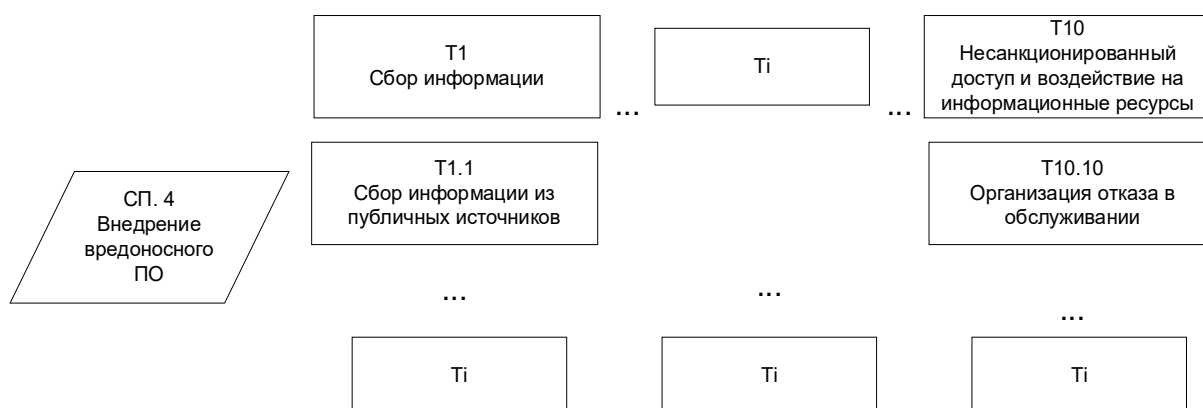


Рисунок 8 – Сценарий реализации УБИ.6.

Согласно изложенной методике, процесс определения сценария кибератак в основном опирается на установление последовательности тактик и техник, применяемых нарушителями угроз безопасности информации, в отношении объекта воздействия через доступные интерфейсы для каждой актуальной угрозы. Как отмечают эксперты в области информационной безопасности, данный подход к определению актуальности угроз является, безусловно, весьма трудоемким [3], поскольку методика включает перечень из 10 основных тактик и 145 типичных техник, необходимых для построения сценариев реализации угроз.

С целью упрощения формирования списка потенциальных угроз информационной безопасности, ФСТЭК России разработала и внедрила инструмент под названием "Новый раздел угроз", который доступен на их официальном веб-сайте и в настоящее время находится на стадии тестирования. Этот инструмент применяет новый подход к моделированию угроз, который представлен в методологии оценки угроз информационной безопасности ФСТЭК России. Процесс формирования списка возможных угроз, как иллюстрируется на рисунке 2, демонстрирует использование данного инструмента [4].

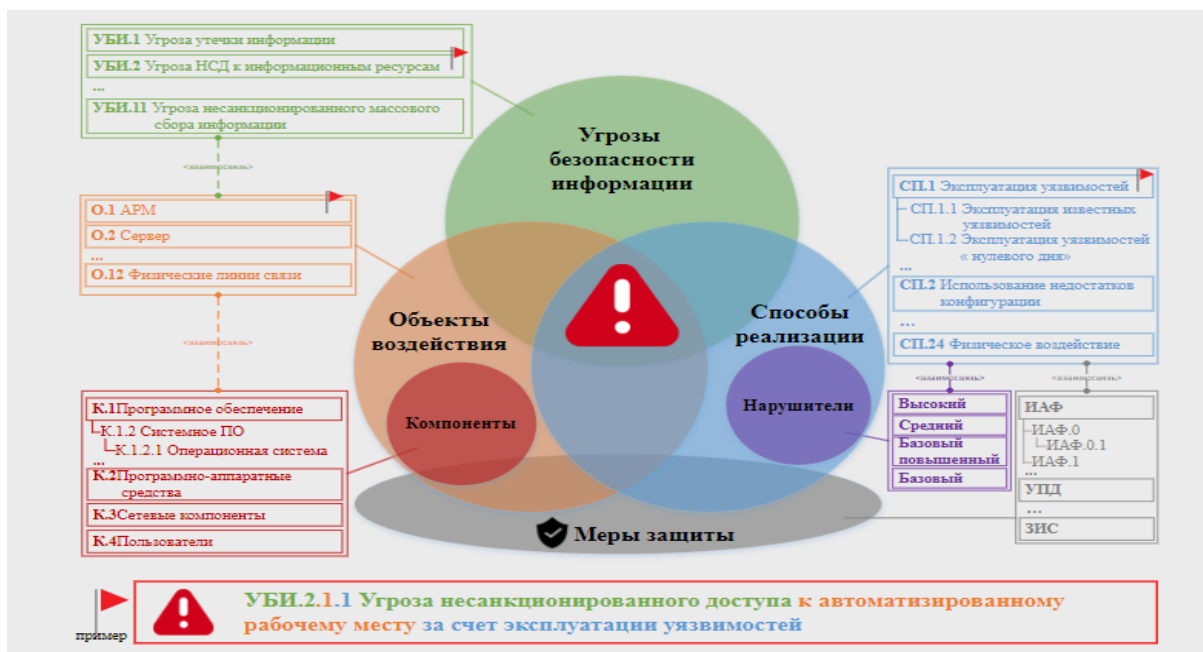


Рисунок 9 - Формирование перечня возможных угроз безопасности информации

Процесс формирования списка угроз начинается с анализа негативных последствий, что представляет собой новый подход в России к оценке угроз информационной безопасности. В данном подходе внимание сосредоточено исключительно на тех угрозах, которые прямо или косвенно затрагивают критически важные процессы, такие как бизнес-операции. Негативные последствия классифицируются в зависимости от типа риска, который они представляют. Например, параметр риска "Ущерб физическому лицу" связан с группой из 11 возможных негативных последствий, включая угрозы жизни и здоровью, а также раскрытие персональных данных граждан.

Представленное понятие «Негативные последствия» по своей сути схоже с давно известным понятием «Недопустимые события», которые описывают события, препятствующие достижению операционных и стратегических целей предприятия или приводящие к длительным нарушениям основной деятельности.

На основе выявленных негативных последствий формируется конкретный набор угроз (УБИ.n), реализация которых может вызвать указанные негативные последствия. Затем проводится определение объекта воздействия, его ключевых компонентов и уровня возможностей потенциальных нарушителей. После выполнения этих шагов составляется полный и исчерпывающий список существующих угроз информационной безопасности. Формат этого списка, как указано, представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень актуальных УБИ

Идентификатор	Наименование	Описание	Объект воздействия	Компоненты	Способы реализации	Потенциал нарушителя	Меры защиты
УБИ.3.10.1	Угроза несанкционированной модификации компонентов мобильного устройства за счет эксплуатации уязвимостей	Угроза заключается в изменении содержания или формы представления обрабатываемой в информационной системе информации, нарушающем установленный в информационной системе порядок обработки информации.	О.10	K.1.1.1; K.1.2.2; K.1.2.4; K.1.3.1; K.1.5.6; K.1.5.15;	СП.1.1; СП.1.2;	B.1; B.2;	АУД.2.1; АУД.2.2; АУД.2.3; АУД.2.4; ОПС.2.5;

После составления перечня потенциальных угроз информационной безопасности эти угрозы могут быть сгруппированы на основе требуемых защитных мер, необходимых для их устранения. Данный инструмент предоставляет возможность всесторонне оценить, какие меры по защите информации необходимы для нейтрализации выявленных угроз.

Тем не менее, предлагаемые защитные меры, как правило, основываются на требованиях ФСТЭК России к государственным информационным системам [5], системам персональных данных [6], значимым объектам критической информационной инфраструктуры [7], и часто носят формальный характер. Например, мера защиты «АВЗ.1 Реализация антивирусной защиты» не учитывает специфику конкретного объекта воздействия и эксплуатируемой уязвимости, а также не предлагает конкретные технические решения для устранения угрозы безопасности информации.

Существует альтернативный подход к анализу угроз безопасности информации, предложенный MITRE, который использует два ключевых инструмента: матрицы MITRE ATT&CK и MITRE SHIELD. Эти матрицы служат основой для систематического анализа и понимания различных типов угроз безопасности, помогая выявлять потенциальные уязвимости и разрабатывать эффективные стратегии защиты. Использование этих матриц позволяет получить структурированное представление об угрозах и обеспечивает глубокую оценку всех аспектов информационной безопасности [8].

Инструмент моделирования угроз, предложенный MITRE, функционирует по аналогии с матрицами MITRE ATT&CK и MITRE SHIELD, представляя собой общедоступные базы данных, которые документируют стратегии и методы, используемые в целенаправленных кибератаках различными киберпреступными группами [9]. По данным опроса, проведенного компанией Positive Technologies в 2021 году, 67% специалистов из различных отраслей, таких как производство, государственный сектор и энергетика, знакомы с матрицей MITRE. Более того, 30% опрошенных уже применяют данные из веб-сайта MITRE для мониторинга, реагирования на кибератаки и расследования, в то время как 37% планируют внедрить эти инструменты в ближайшем будущем [10].

Моделирование угроз информационной безопасности с применением инструментов, таких как матрицы MITRE ATT&CK и MITRE SHIELD, предполагает, прежде всего, детальный анализ и классификацию тактик, приемов и процедур, применяемых злоумышленниками в ходе кибератак. Применение матрицы MITRE SHIELD позволяет организациям целенаправленно выбирать соответствующие защитные меры и механизмы защиты, направленные на эффективное противодействие и смягчение возникающих угроз информационной безопасности. Процесс внедрения матриц MITRE ATT&CK и MITRE SHIELD показан на рисунке 3.

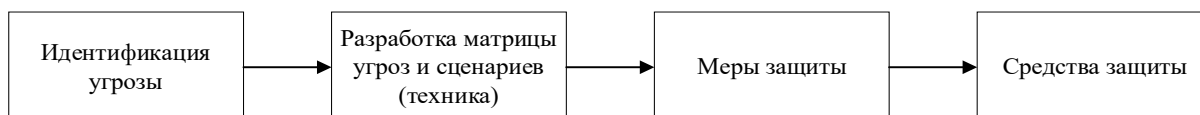


Рисунок 10 – Алгоритм реализации матрицы MITRE ATT&CK

Как показано на рисунке, применение матриц MITRE ATT&CK и MITRE SHIELD обеспечивает комплексный и системный подход к защите информационных систем. Эти матрицы включают в себя техники и тактики, используемые наиболее известными хакерскими группировками, что позволяет при наличии информации о конкретном злоумышленнике просматривать и анализировать присущие ему методы и техники атаки. База данных MITRE ATT&CK также содержит примеры вредоносных программ, которые используются для реализации перечисленных техник и тактик. В отличие от этого, меры защиты, предложенные в матрице MITRE SHIELD, опираются на принципы активной обороны, что контрастирует с более формализованными мерами, рекомендованными методикой ФСТЭК России.

Результаты проведенного исследования включают, как ожидается, детализированный сравнительный анализ существующих подходов к анализу угроз информационной безопасности, а также рекомендации автора по усовершенствованию методологии ФСТЭК России в области оценки таких угроз. Предлагаемые улучшения, как предполагается, направлены на повышение акцента на кибербезопасности и угрозам национальной безопасности, характерным для Российской Федерации.

Заключение

Моделирование угроз информационной безопасности представляет собой ключевой элемент для обеспечения надежной киберзащиты в организациях. В этой статье анализируются два основных подхода к моделированию угроз. Первый подход базируется на требованиях ФСТЭК России и акцентирует внимание на угрозах и методах, характерных для российской кибербезопасности и национальной безопасности. Этот метод включает детализированный перечень потенциальных угроз и атак, направленных на российские информационные системы. Второй подход предполагает использование матрицы MITRE ATT&CK, что позволяет компаниям и организациям более эффективно реагировать на

изменяющиеся угрозы и улучшать свои меры киберзащиты. В отличие от подхода ФСТЭК, матрица MITRE ATT&CK обладает более широким международным охватом и регулярно обновляется с учетом мировых тенденций.

Таким образом, методика оценки угроз безопасности ФСТЭК России требует дальнейшего совершенствования, чтобы соответствовать современным требованиям, аналогичным матрицам MITRE ATT&CK и MITRE SHIELD. Это предполагает не только учет конкретных средств защиты, но и необходимость включения в меры защиты принципов активной обороны, которые учитывают угрозы со стороны потенциальных нарушителей информационной безопасности.

Литература

1. Методика оценки угроз безопасности ФСТЭК России [Электронный ресурс] – URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/metodicheskij-dokument-ot-5-fevralya-2021-g> (дата обращения 10.02.2024)
2. Банк данных угроз ФСТЭК России [Электронный ресурс] – URL: <https://bdu.fstec.ru/threat> (дата обращения 10.02.2024)
3. Обзор Методики оценки угроз безопасности информации ФСТЭК России от специалистов компании «Акрибия» [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/companies/acribia/articles/513178/> (дата обращения 10.02.2024)
4. Новый раздел банка данных угроз ФСТЭК России [Электронный ресурс] – URL: <https://bdu.fstec.ru/threat-section/shaper-threats> (дата обращения 10.02.2024)
5. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 11 февраля 2013 г. № 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» [Электронный ресурс] – URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/prikazy/prikaz-fstek-rossii-ot-11-fevralya-2013-g-n-17>
6. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 18 февраля 2013 г. № 21 «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [Электронный ресурс] – URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/prikazy/prikaz-fstek-rossii-ot-18-fevralya-2013-g-n-21>
7. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 25 декабря 2027 г. № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» [Электронный ресурс] – URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/prikazy/prikaz-fstek-rossii-ot-25-dekabrya-2017-g-n-239>
8. Матрица MITRE ATT&CK [Электронный ресурс] – URL: <https://attack.mitre.org/> (дата обращения 10.02.2024)
9. Обзор матрицы MITRE ATT&CK от специалистов АО «Лаборатория Касперского» [Электронный ресурс] – URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/mitre-apt29-evaluation/28216/> (дата обращения 15.02.2024)
10. Обзор матрицы MITRE ATT&CK от специалистов «Positive Technologies» [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/companies/pt/articles/597581/> (дата обращения 15.02.2024)

УПРОЩЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРИ ОБУЧЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ НОВОГО ТИПА ВОЗДУШНОГО СУДНА

Алымов В.Н., Коробков Ю.Н., Плотников Е.В.
ПАО «Яковлев»
+7 (903) 675-72-98, Yuriy_Korobkov@yakovlev.ru

Статья посвящена методам упрощения виртуальной модели при обучении специалистов по техническому обслуживанию нового типа ВС.

Ключевые слова: обучение специалистов по техническому обслуживанию, новый тип ВС.

Simplifying the virtual model for training maintenance specialists for a new type of aircraft. Alymov V.N., Korobkov Y.N., Plotnikov E.V., UAC «YAKOVLEV», Moscow, Russia

The article is devoted to the simplifications of developing virtual model for the training of technical personnel during the transition to a new type of aircraft.

Keywords: maintenance personnel training, new type of aircraft

Введение

Динамика роста разработки различных типов пилотируемых ЛА и БПЛА (далее ВС) предполагает разработку и совершенствование соответствующих технических средств обучения (ТСО). Эта работа является важной составной частью послепродажного обслуживания ВС.

Известны методики процесса разработки учебных материалов при переучивании на новый тип ВС [1, 2, 3, 4]. Ключевым этапом указанных методик является этап оценки функциональных различий нового типа ВС по отношению к базовому.

Одним из эффективных направлений снижения затрат на устранение ошибок, допущенных при техническом обслуживании нового типа ВС является использование виртуальной модели нового типа ВС.

В [5] предложен возможный алгоритм обучения на виртуальной модели ВС нового типа (MTD - Maintenance Training Device), которая представляет совокупность двухмерной и трехмерной моделей ВС. В [6] отмечается, что процесс подготовки слушателей будет ускорен, если при наличии времени на указанных моделях в дополнение к «реальным» учебным упражнениям по техническому обслуживанию в качестве практических заданий будут задаваться гипотетические ситуации.

Сложность построения адекватной виртуальной модели ВС нового типа определяется рядом объективных причин, в частности:

1. Модель зачастую объединяет разработки разнородных компаний с разной степенью проработки соответствующих систем ВС;
2. Различного опыта процедур технического обслуживания у потенциальных пользователей модели.

Типичным подходом к построению MTD является полное функциональное построение виртуальной модели ВС [7]. Такой подход требует больших материальных затрат и целесообразен после окончательной доводки всех систем самолета. В условиях импортозамещения систем самолета нового типа для снижения затрат на создание виртуальной модели самолета актуальным направлением становится упрощение построения такой модели без снижения качества подготовки специалистов по техническому обслуживанию.

В настоящей работе предлагается два подхода, позволяющие упростить построение виртуальной модели для нового типа ВС. При этом предполагается, что слушатели закрепят полученный опыт на реальном ВС.

Первый подход заключается в вводе новой функции в виртуальную модель - управление контролем шагов процедуры ТО нового типа ВС (далее по тексту КШПТО). При этом виртуальная модель назначает все шаги процедуры ТО как:

1. Обязательные для контроля (ОК).
2. Не обязательные для контроля (НОК).

Шаги ОК отражают важную специфику ТО нового типа ВС. Кроме того, такие шаги гарантированно реализованы на виртуальной модели, особенно в случаях взаимодействия со смежными компаниями.

Шаги НОК могут быть хорошо знакомы слушателям по предыдущему опыту работы, и, кроме того, они могут быть недостаточно проработанными и не реализованными в виртуальной модели.

Второй подход заключается в управлении контролем глубины прохождения процедуры ТО нового типа ВС (далее по тексту КГПТО). При этом виртуальная модель ограничивает количество шагов процедуры на основании проработки процедур бортовой системы технического обслуживания (БСТО) нового типа ВС.

Управление контролем шагов процедуры ТО

В качестве примера рассмотрим фрагмент типовой процедуры демонтажа карты памяти из блока сбора полетных данных (БСПД), который представлен для простоты в виде 3-х шаговой процедуры (см. Таблица 1).

Таблица 2 – Процедура демонтажа карты памяти из блока сбора полетных данных

№ п.п. шага	Виртуальные действия, в соответствии со сценарием	Виртуальные действия на 2D модели	Виртуальные действия на 3D модели	Контроль шагов включен?
1	Открыть люк 811		Подойти к люку 811 и открыть его (Рисунок 1)	Да

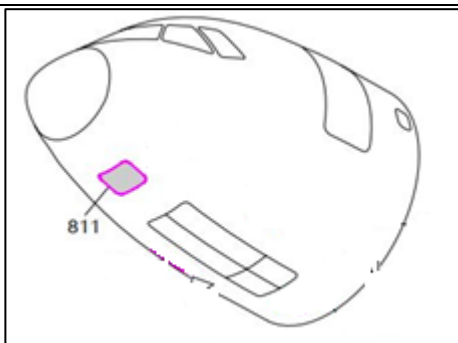


Рисунок 1 – 3D модель самолета: расположение люка 811

2	Выключить АЗС БСПД F10 в отсеке БРЭО	Выключить АЗС F10 (Рисунок 2): обозначен зеленым цветом		Да
---	--------------------------------------	---	--	----

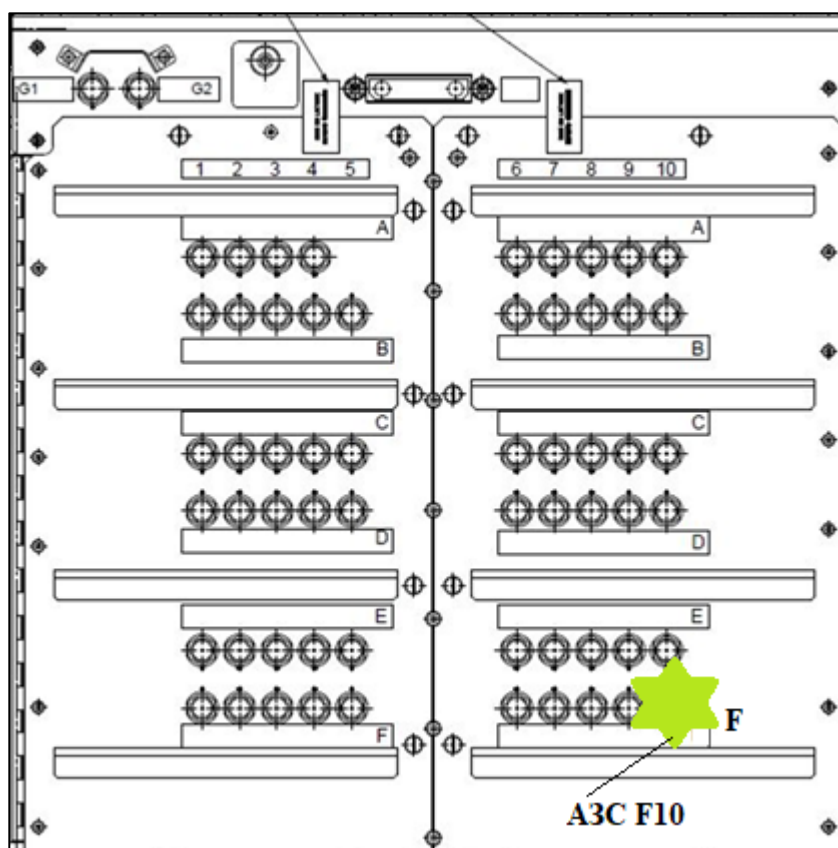


Рисунок 2 – 2D модель самолета: расположение АЗС F10

3	Демонтировать карту памяти из БСПД одним из двух вариантов. Вариант определяется типом используемого БСПД.		Вариант 1: подойти к блоку БСПД и выполнить следующие действия на блоке (Рисунок 3): 1. Нажать и повернуть запорный ключ (2) крышки (3) вправо на 90°; 2. Открыть крышку слота (3) вправо; 3. Нажать на кнопку (4) выброса карты памяти;	Нет
---	--	--	---	-----

			<p>4. Удерживая край карты памяти (1), извлечь ее из слота (5) БСПД; 5. Закрыть влево крышку слота (3) и нажать и повернуть запорный ключ (2) крышки (3) влево на 90°.</p> <p>Вариант 2: подойти к блоку БСПД и выполнить следующие действия на блоке (Рисунок 4):</p> <p>1. Нажать одновременно фиксаторы (3) по направлению друг к другу; 2. Открыть крышку слота карты памяти (2) вправо; 3. Удерживая карту памяти за край (1) вытащить ее из слота; 4. Закрыть крышку слота карты памяти (2) влево до щелчка.</p>
--	--	--	--

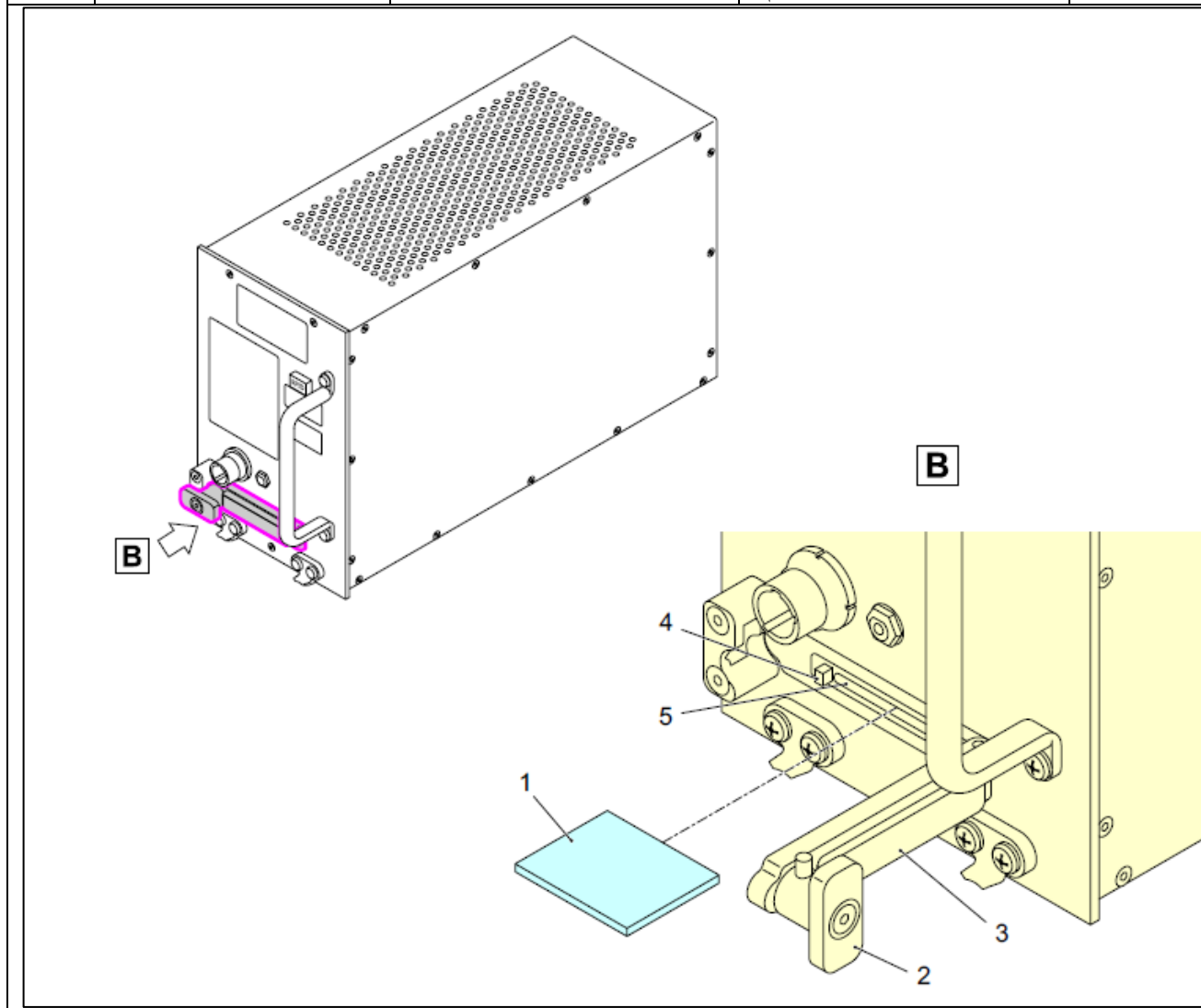


Рисунок 3 – 3D модель самолета: демонтаж карты памяти – вариант 1

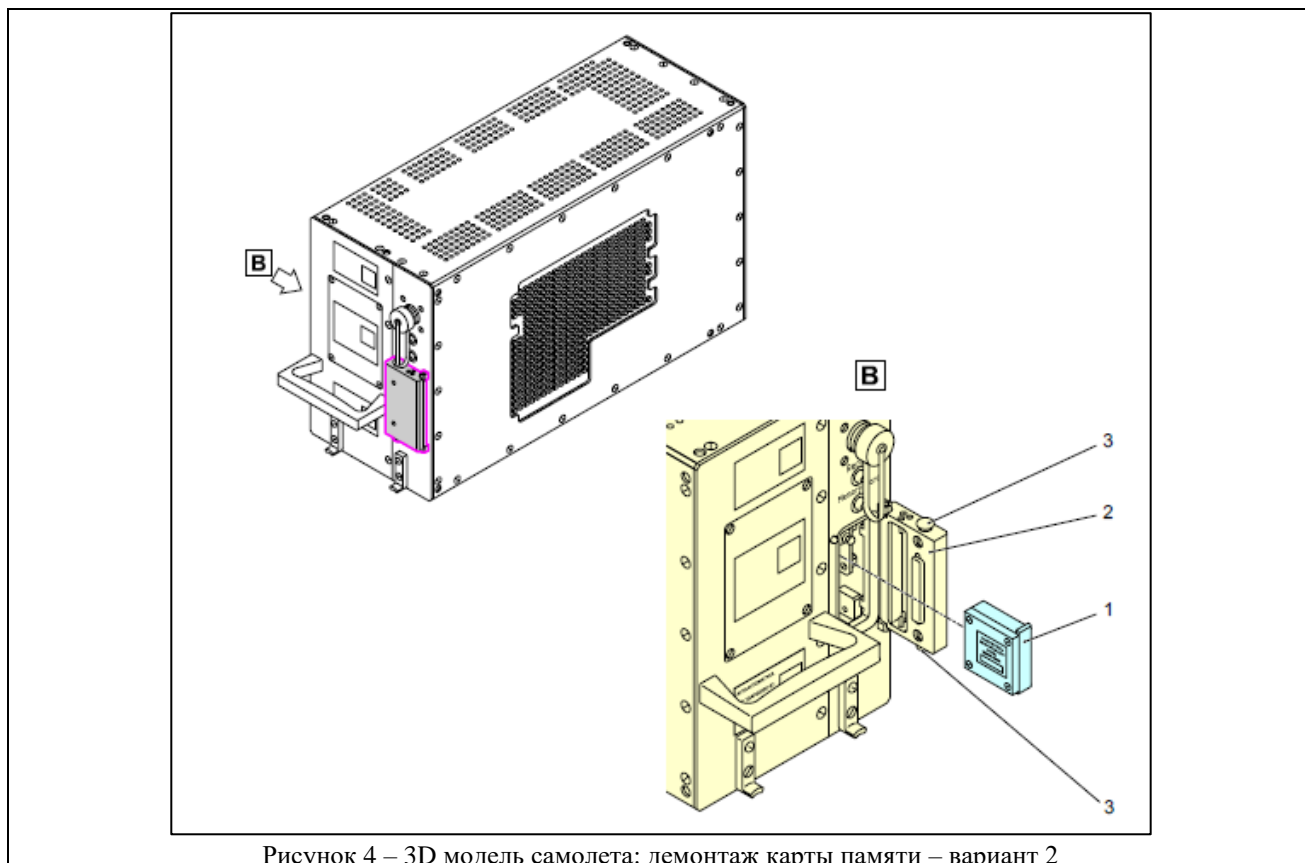


Рисунок 4 – 3D модель самолета: демонтаж карты памяти – вариант 2

В указанном примере первые два шага имеют следующие особенности:

1. Наличие обязательно для большинства ВС. На различных ВС могут иметь место следующие отличия:

- a. Расположение БСПД и соответствующих автоматов защиты сети (АЗС) на самолете.
- b. Наименование БСПД и соответствующих АЗС.
- c. Внешний вид.

Третий шаг имеет ключевую особенность в порядке демонтажа карты памяти из БСПД.

Таким образом, первые 2 шага обязательны для внедрения в виртуальную модель самолета – они характерны для большинства самолетов. Их программная реализация очень похожа. Достаточно разработать несколько универсальных процедур:

1. Локализации указанных компонентов на самолете;
2. Их наименование в соответствии с текущей эксплуатационной документацией;
3. Внешний вид.

Именно поэтому в колонке «Контроль шагов включен?» установлено значение «Да». С точки зрения обучения специалистов по техническому обслуживанию эти шаги:

1. Обязательны к реализации на виртуальной модели;
2. Обязательно подлежат контролю при проверке знаний процедур ТО;
3. В случае, если шаг гарантированно реализован смежной организацией, при условии коллективной разработки виртуальной модели;
4. Полное обучение таким шагам целесообразно проводить на виртуальной модели с последующим закреплением материала на ВС нового типа

Третий шаг имеет значительную специфику и, следовательно, его реализация может быть затруднительна на виртуальной модели или сопряжена с большими временными затратами программистов. Кроме того, такой шаг, может взять на реализацию организация не компетентная или не обладающая нужным количеством ресурсов. Именно поэтому в колонке «Контроль шагов включен?» установлено значение «Нет». С точки зрения обучения специалистов по техническому обслуживанию эти шаги:

1. Не обязательны к реализации на виртуальной модели;
2. Не обязательно подлежат контролю при проверке знаний процедур ТО на виртуальной модели;
3. В случае, если возникают сомнения в реализации шага смежной организацией;

4. Полное обучение таким шагам целесообразно проводить на реальном ВС нового типа;
 5. Реализация шага на реальном ВС исполнена разными разработчиками.
- Для ВУЗов такое управление шагами процедур ТО позволит выделить шаги, которые:
1. Целесообразно изучать в учебном заведении в полном объеме;
 2. Могут быть частично изучены в ВУЗе с последующим полным изучением в авиационных учебных центрах и на площадках эксплуатанта.

Управление контролем глубины прохождения процедуры ТО

В последнее время при разработке ВС нового типа значительно возрастает роль бортовой системы технического обслуживания (БСТО) при решении задач эксплуатационного контроля и технического обслуживания. БСТО позволяет на основе сбора и обработки данных по ТО всех самолётных систем «разгрузить» функционал МТД. Для пояснения этого факта рассмотрим проверку функциональности ВС на основе БСТО.

Для простоты рассмотрения будем предполагать, что реализация набора m функций ВС ($F1...Fm$) определяется работоспособностью набора из n конструктивно сменных единиц (КСЕ1... КСEn). Здесь под КСЕ понимается блок, модуль, агрегат или программный компонент, которые объединяются в структурные единицы для выполнения определенных функций ВС. Рисунок 2 иллюстрирует данное предположение в табличной форме.

Исходя из такого предположения процедуры технического обслуживания на виртуальной модели можно значительно упростить путем определения только расположения отказавшей КСЕ на ВС и его замены. Кроме того, в этом случае задача поиска отказавшей КСЕ снимается с МТД и решается с применением БСТО.

№ п.п.	Обозначение функции	КСЕ1	КСЕ2	...	КСEn
1	F1	КСЕ11	КСЕ12	...	КСЕ1n
2	F2	КСЕ21	КСЕ22	...	КСЕ2n
3	F3	КСЕ31	КСЕ32	...	КСЕ3n
4	F4	КСЕ41	КСЕ42	...	КСЕ4n
...
m	Fm	КСEm1	КСЕ1m2	...	КСЕ1mn

Рисунок 5 – Набор контролируемых функций ВС и обеспечивающих их КСЕ

Заключение

Предложенные подходы к упрощению построения МТД позволяют

- ✓ Снизить стоимость разработки МТД за счет:
 - Гибкого изучения шагов процедуры ТО на МТД и реальном самолете;
 - Более качественного комплексного изучения шагов на МТД и реальном самолете;
 - Использования постоянно развивающегося функционала БСТО для решения задач МТД.
- ✓ Сделать изучение МТД более доступным для освоения не программистами, а специалистами по техническому обслуживанию ВС нового типа.
- ✓ Уменьшить последствия ошибочных действий при выполнении ТО ВС, поскольку практической работе на ВС нового типа предшествует работа на виртуальной модели ВС.

Литература

1. ФАП «Требования к порядку разработки, утверждения и содержанию программ подготовки специалистов согласно перечню специалистов авиационного персонала гражданской авиации», утверждены приказом Минтранса России от 02.10.2017, № 399.
2. ФАП «Требования к членам экипажа воздушных судов, специалистам по техническому обслуживанию воздушных судов и сотрудникам по обеспечению полетов (полетным диспетчерам) гражданской авиации», утверждены приказом Минтранса России от 20.11.2008, № 147.
3. Акимов А.Н., Пушков С.В. Разработка руководства по обучению для технического персонала: анализ задач обучения // Научный вестник МГТУ ГА. – 2015. № 4. С. 32-41.
4. Акимов А.Н., Коробков Ю.Н. Анализ потребностей в обучении технического персонала при переходе на новый тип самолета // XVIII Международная научно-практическая конференция «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии», Сочи, 1-10 октября 2021.
5. Алымов В.Н., Артемов А.Д., Коробков Ю.Н. Двухэтапный алгоритм обучения специалистов по техническому обслуживанию при переходе на новый тип воздушного судна // 2-я Международная

конференция «Скоростной транспорт будущего: перспективы, проблемы, решения» (HSTD 2023)», республика Крым, Алушта, 29 августа-03 сентября 2023.

6. ICAO, Doc. 7192/- AN/857, Training Manual, Part D-1, Aircraft Maintenance (Technician/Engineer/Mechanic), Second Edition – 2003.

7. Technical Specification Document. Airbus Competence Trainer. Airbus A320. Standard 1.8, 2014

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ МОЩНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ВВЕРХ КА-ДИАПАЗОНА

Куркова М.С., Кубрин В.И.
НИУ МАИ

+7 (964) 930-93-38, kurkova_0106@mail.ru

В данной статье рассматриваются конструктивно-технологические варианты мощных преобразователей частоты вверх для Ka-диапазона (26,5 - 40 ГГц). Проведен системный анализ и постановка задачи, выбраны активные и пассивные компоненты, разработаны структурные и принципиальные схемы. Описаны методики разработки и анализа, приведены примеры расчетов и результаты измерений. Результаты исследования показывают возможность достижения высоких параметров и эффективности работы устройств, что открывает новые перспективы для их применения в различных радиотехнических системах.

Ключевые слова: преобразователи частоты вверх, Ka-диапазон, высокочастотные компоненты, микрополосковые линии, волноводы, схемотехника, моделирование, тепловое управление, электрические измерения, надежность, спектральный анализ, фазовый шум.

Development and research of structural and technological options for high-power up-converters in the Ka-band. Kurkova M.S., Kubrin V.I., National Research University "Moscow Aviation Institute" (NRU MAI).

This article examines the structural and technological options for high-power up-converters for the Ka-band (26.5 - 40 GHz). A systematic analysis and problem statement were carried out, active and passive components were selected, and structural and circuit diagrams were developed. Development and analysis methodologies are described, examples of calculations and measurement results are provided. The research results demonstrate the feasibility of achieving high parameters and device efficiency, opening new prospects for their application in various radio engineering systems.

Keywords: up-converters, Ka-band, high-frequency components, microstrip lines, waveguides, circuitry, modeling, thermal management, electrical measurements, reliability, spectral analysis, phase noise.

Введение

Современные радиотехнические системы, такие как спутниковая связь и радиолокация, требуют эффективных преобразователей частоты для передачи и приема сигналов в Ka-диапазоне (26,5 - 40 ГГц).

Разработка мощных преобразователей частоты вверх для этого диапазона включает исследование различных конструктивных и технологических решений, обеспечивающих высокую производительность, надежность и стабильность. В данной статье рассматриваются основные аспекты разработки таких устройств, включая выбор активных и пассивных компонентов, схемотехнические решения и методы тестирования.

Постановка проблемы

1. Технологические основы преобразователей частоты

1.1. Основы работы преобразователей частоты

Преобразователь частоты (ПЧ) является устройством, изменяющим частоту входного сигнала на заданную величину. В Ka-диапазоне ПЧ используются для повышения частоты сигнала с минимальными потерями и искажениями. Основные характеристики ПЧ включают уровень выходной мощности, коэффициент шума и линейность.

1.2. Активные компоненты

1.2.1. Арсенид галлия (GaAs)

Транзисторы на основе арсенида галлия (GaAs) широко применяются в высокочастотных приложениях из-за их высокой электронной подвижности и низких потерь. GaAs транзисторы, такие как НЕМТ (High Electron Mobility Transistor), обеспечивают высокие значения коэффициента усиления и рабочие частоты до 40 ГГц.

Формула расчета коэффициента усиления:

$$G = 20 \log \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$$

где G - коэффициент усиления в децибелах, V_{out} - выходное напряжение, V_{in} - входное напряжение.

1.2.2. Нитрид галлия (GaN)

Нитрид галлия (GaN) обладает большей электронной подвижностью и теплопроводностью по сравнению с GaAs, что позволяет создавать транзисторы с более высокой выходной мощностью и эффективностью. GaN НЕМТ транзисторы обеспечивают низкий уровень фазовых шумов и высокую стабильность параметров.

Формула расчета фазового шума:

$$L(f) = 10 \log \left(\frac{P_{noise}(f)}{P_{carrier}} \right)$$

где $L(f)$ - фазовый шум в децибелах на заданной частоте f , $P_{noise}(f)$ - мощность шума на частоте f , $P_{carrier}$ - мощность несущей.

1.3. Пассивные компоненты и фильтры

1.3.1. Полосовые фильтры

Полосовые фильтры используются для выделения нужного частотного диапазона и подавления нежелательных гармоник. Они могут быть реализованы на основе микрополосковых линий, обеспечивающих компактные размеры и высокую добротность.

Формула для расчета центральной частоты полосового фильтра:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

где f_0 - центральная частота, L - индуктивность, C - емкость.

1.3.2. Режекторные фильтры

Режекторные фильтры подавляют сигналы в узком частотном диапазоне, пропуская остальные частоты. Эти фильтры используются для подавления гармонических искажений и помех.

Формула для расчета полосы подавления режекторного фильтра:

$$BW = f_0 \cdot \frac{Q}{\sqrt{1-Q^2}}$$

где BW - полоса подавления, f_0 - центральная частота, Q - добротность фильтра.

1.4. Результаты измерений параметров преобразователей частоты

Для измерения параметров ПЧ используются высокочастотные анализаторы спектра и генераторы сигналов. Важными параметрами являются уровень выходной мощности, подавление побочных спектральных составляющих и фазовый шум.

Таблица 1.1 – Характеристики микрополосковой линии

Параметр	Значение
Диэлектрическая проницаемость (ϵ_r)	12.9
Толщина подложки (h)	0.5 мм
Эффективная диэлектрическая проницаемость (ϵ_{eff})	6.95
Импеданс микрополосковой линии (Z_0)	50 Ом
Ширина проводника (W)	0.7 мм

Таблица 1.2 – Сравнительные характеристики GaN и GaAs транзисторов

Параметр	GaAs	GaN
Выходная мощность (Pout)	Высокая	Очень высокая
Коэффициент усиления (G)	Высокий	Очень высокий
Фазовый шум (L(f))	Умеренный	Низкий
Рабочая частота (f)	До 40 ГГц	До 100 ГГц
Теплопроводность	Умеренная	Высокая

Таблица 1.3 – Характеристики полосового фильтра

Параметр	Значение
Центральная частота (f0)	30 ГГц
Полоса пропускания (Δf)	2 ГГц
Добротность (Q)	15

Таблица 1.4 – Параметры для измерений

Параметр	Значение
Входная мощность (Pin)	-20 дБВт
Потери в кабеле (Lcable)	1 дБ
Выходная мощность (Pout)	31 дБВт
Коэффициент усиления (G)	20 дБ
Фазовый шум (L(f))	Уровень зависит от частоты отстройки

Эти таблицы обобщают результаты расчетов, проведенных в разделе 1, и помогают структурировать данные для лучшего понимания ключевых характеристик и параметров активных и пассивных компонентов, используемых в мощных преобразователях частоты для Ka-диапазона.

2. Конструктивные решения для Ka-диапазона

2.1. Планарные структуры

Планарные структуры, такие как микрополосковые линии и интегральные схемы на подложках из GaAs и GaN, позволяют создавать компактные и высокоэффективные ПЧ. Эти структуры обеспечивают хорошие электрические характеристики при минимальных габаритах и массогабаритных характеристиках.

2.2. Объемные конструкции

Объемные конструкции используются для интеграции различных компонентов в едином корпусе, обеспечивая улучшенный теплоотвод и механическую прочность. Такие конструкции применяются в мощных усилителях и передающих модулях, где требуется высокая выходная мощность и надежность.

3. Методика разработки и анализа мощных преобразователей частоты вверх в Ka-диапазоне

Разработка мощных преобразователей частоты вверх для Ka-диапазона требует комплексного подхода, включающего этапы проектирования, моделирования, изготовления и тестирования. В данном разделе представлена методика разработки и анализа, включающая основные этапы и методы оценки параметров.

3.1. Этапы разработки

3.1.1. Системный анализ и постановка задачи

Первоначальный этап разработки включает системный анализ и постановку задачи, определение требований к преобразователю частоты:

- Рабочий диапазон частот: 26,5 - 40 ГГц
- Выходная мощность: не менее 1 Вт
- Коэффициент шума: менее 2 дБ
- Линейность и стабильность параметров.

3.1.2. Выбор элементной базы и схемотехническое проектирование

На данном этапе выбираются активные и пассивные компоненты, разрабатываются структурные и принципиальные схемы устройства:

- Выбор активных компонентов: транзисторы на основе GaAs и GaN, интегральные схемы
- Выбор пассивных компонентов: микрополосковые фильтры, резисторы, конденсаторы
- Схемотехническое проектирование: разработка схемы преобразователя частоты, включающей усилительные каскады, фильтры и микшеры.

3.1.3. Моделирование и оптимизация

Для проверки работоспособности схемы и оптимизации параметров проводится моделирование:

- Электрическое моделирование: использование программного обеспечения для моделирования схемотехнических решений (например, ADS, HFSS)
- Тепловое моделирование: анализ тепловых режимов работы устройства для обеспечения эффективного теплоотвода.

3.1.4. Изготовление прототипа

После завершения этапа моделирования изготавливается прототип преобразователя частоты:

- Печатные платы: разработка и изготовление печатных плат с учетом высокочастотных особенностей
- Корпус и теплоотвод: проектирование и изготовление корпуса с радиаторами для эффективного теплоотвода
- Монтаж компонентов: установка активных и пассивных компонентов на печатные платы.

3.2. Методы анализа и тестирования

3.2.1. Электрические измерения

Для оценки параметров преобразователя частоты проводятся электрические измерения с использованием специализированного оборудования:

- Измерение выходной мощности: анализатор спектра и генератор сигналов используются для измерения уровня выходной мощности и линейности усиления
- Измерение коэффициента шума: использование шумомера и анализатора спектра для оценки коэффициента шума
- Измерение фазового шума: анализатор фазового шума для измерения спектральной плотности мощности фазового шума

Пример формулы для расчета коэффициента шума:

$$F = 10 \log \left(\frac{S_{out}}{S_{in}} \right)$$

где F - коэффициент шума в децибелах, S_{out} - выходной сигнал, S_{in} - входной сигнал.

3.2.2. Тепловые испытания

Тепловые испытания проводятся для оценки эффективности теплоотвода и стабильности параметров при различных температурах:

- Климатические испытания: использование климатической камеры для моделирования условий окружающей среды (температура, влажность)
- Анализ тепловых режимов: измерение температуры компонентов и оценка теплового сопротивления радиаторов

3.2.3. Надежность и долговечность

Испытания на надежность и долговечность проводятся для оценки работоспособности устройства в течение длительного времени:

- Тестирование на вибрацию и удар: использование вибрационных столов и ударных установок для оценки механической прочности
- Испытания на долговечность: длительное включение устройства при номинальных условиях для оценки стабильности параметров.

Заключение

Разработка и исследование конструктивно-технологических вариантов мощных преобразователей частоты вверх в Ка-диапазоне требует комплексного подхода, включающего выбор высокоэффективных активных и пассивных компонентов, использование современных технологий и методик измерений. Методика разработки и анализа мощных преобразователей частоты вверх для Ка-

диапазона включает системный анализ, выбор элементной базы, моделирование, изготовление прототипов и комплексное тестирование. Применение данной методики позволяет создавать устройства с высокими техническими характеристиками, обеспечивающими надежную работу в различных условиях эксплуатации. Проведенные исследования подтверждают возможность достижения высоких параметров и эффективности работы устройств, что открывает новые перспективы для их применения в различных радиотехнических системах.

Литература

1. Иванов И.И., Петров П.П. Технологии производства высокочастотных компонентов. - М.: Радио и связь, 2015.
2. Сидоров С.С., Васильев В.В. Современные материалы и технологии для радиоэлектронной аппаратуры. - СПб.: Наука, 2018.
3. Johnson M. High-Power RF and Microwave Transistor Amplifiers. - Artech House, 2013.
4. Hansen R. Microwave Filters and Circuits. - Wiley, 2017.
5. "Специализированные методы сварки" В.Н. Стаценко.
6. "Микроволновые транзисторы и усилители мощности" А.А. Кишинский.
7. Hittite Microwave Corporation. "Data Sheets for HMC329, HMC698LP5, HMC712, HMC916LP3, HMC578LC3, HMC499LC4".
8. Avago Technologies. "Data Sheet for AV02-3204EN".
9. Morion Inc. "Catalog for GK211-TC".
10. Кирпиченков А.И. Конспект лекций по предмету "Проектирование и технология РЭС специального назначения".
11. Ченакин А. Фазовые шумы в СВЧ-генераторах. Методы решения проблемы.
12. Барулин Л.Г., Биков В.Н. Радиоприемные устройства.
13. Колосковский Е.А. Устройства приема и обработки сигналов.
14. Мурамов Ю.Л., Белоусов О.А., Молчанов Е.Н. Конструирование блоков РЭС.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В СРЕДЕ JAVA NETBEANS

Ларина Т.Б., Иродова А.И.
Российский университет транспорта (РУТ-МИИТ), г. Москва
+7 (916) 427-23-34 , tblarina@gmail.com

Изложены результаты разработки мультимедийного электронного учебного пособия по автоматизации системного администрирования на базе Windows PowerShell. Учебник обеспечивает изучение теоретического материала, получение справочной информации, выполнение практических заданий и контрольное тестирование. Разработка выполнена на языке Java в среде разработки NetBeans.

Ключевые слова: электронные образовательные ресурсы, автоматизация администрирования, PowerShell, Java, NetBeans

Developing e-learning resources in Java NetBeans. Larina T.B., Irodova A.I. Russian University of Transport (RUT-MIIT), Moscow

The results of the development of a multimedia electronic tutorial on automating system administration based on Windows PowerShell are presented. The tutorial provides theoretical material, reference information, practical tasks and control testing. Development is done in Java in the NetBeans development environment.

Keywords: e-learning resources, administration automation, PowerShell, Java, NetBeans

Введение

В современной жизни умение управлять работой своего компьютера – необходимая компетенция специалиста любой области. Авторы поставили своей целью разработать электронное учебное пособие для самостоятельного изучения инструмента администрирования системы - Windows PowerShell. Учебное пособие должно быть мультимедийным, то есть содержать информацию разных видов представления. Учебное пособие должно быть интерактивным - читатель должен иметь возможность свободной навигации по содержанию учебника. Подача информации должна сопровождаться практическими упражнениями и самопроверкой полученных знаний.

Среда разработки

Приложения, ориентированные на отображение данных, могут разрабатываться как с помощью специализированных средств, ориентированных на работу с графикой, так и высокоуровневых языков

общего назначения. Языки программирования Delphi, C#, C++, Java и другие позволяют реализовать практически любые задачи с помощью подключения библиотек с необходимыми функциями. Для разработки мультимедийного приложения выбран язык Java и среда разработки NetBeans [1,2]. Реализация графического интерфейса электронного пособия выполнялась с помощью соответствующего конструктора, встроенного в среду разработки (на рис.1).

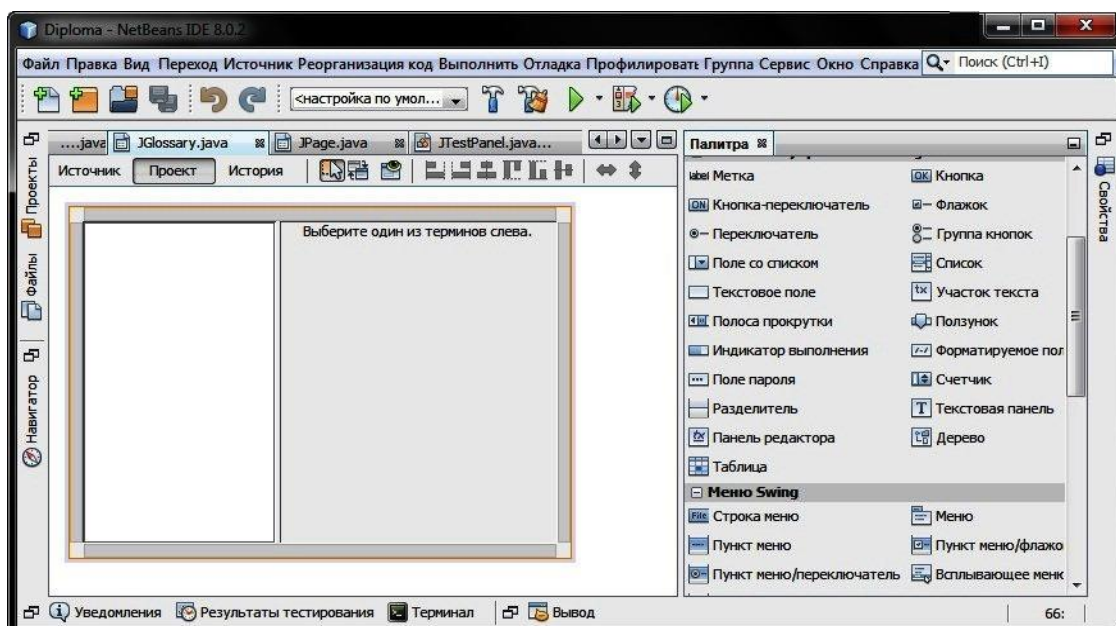


Рисунок 1 – Конструктор графического интерфейса в NetBeans.

Структура учебного пособия

Учебное пособие имеет иерархическую древовидную структуру, состоящую из нескольких разделов. Разделы разбиты на главы. Любая глава пособия состоит из страниц различного типа (рис.2).

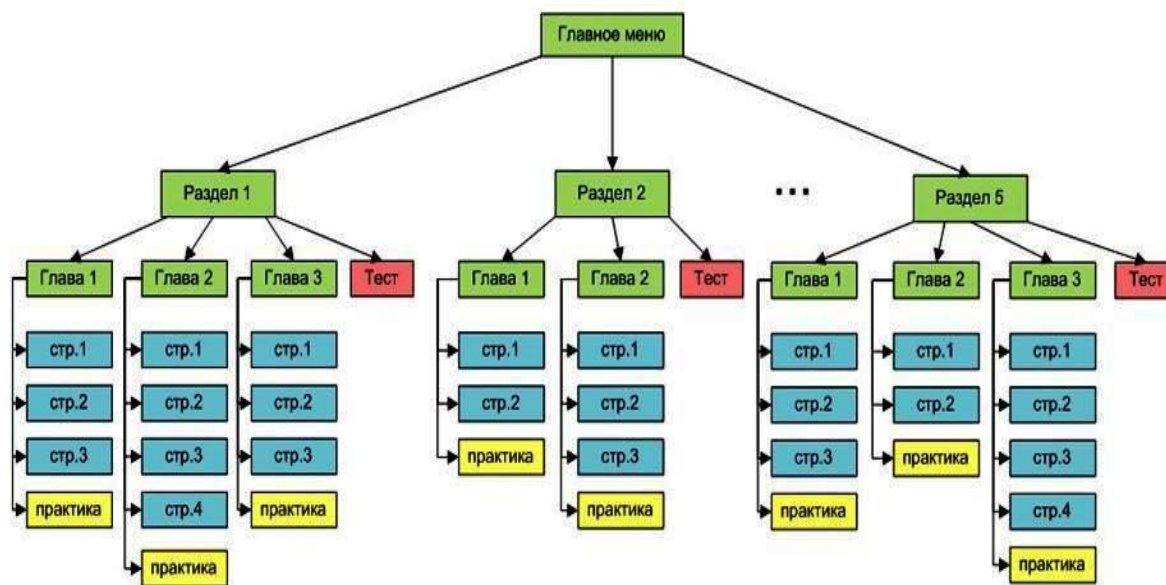


Рисунок 2 – Иерархическая структура учебного пособия.

Первый раздел дает обзор оболочки PowerShell и основы сценариев администрирования. Второй раздел посвящен изучению языка сценариев PowerShell и практике их разработки [3,4].

Следующие три раздела позволяют изучить работу с файловой системой и системным реестром, управление локальной системой и аудит, расширение возможностей администрирования с помощью создания собственных командлетов и использования средств Windows Management Instrumentation [5,6].

Интерфейс программы

Интерфейс страниц учебного пособия схематично показан на рис.3. Окно любой страницы состоит из двух полей - главной информационной области и панели навигации в нижней части окна.



Рисунок 3 - Структура представления страницы учебного пособия.

В главной области отображается собственно содержимое страницы. Кнопки панели навигации позволяют перемещаться по учебнику. Можно уйти в Главное меню, в меню раздела, к соседним страницам, вызвать словарь терминов. Для любой отображаемой страницы показывается ее место в структуре учебника. В зависимости от содержания и места размещения в дереве учебника страницы подразделяются на четыре типа: страницы меню, теоретические страницы, страницы практики и страницы тестов.

Страницы меню соответствуют вершинам дерева, которые являются «контейнерами». Они служат только для навигации по пособию (рис.4). Это Главное меню учебника, меню разделов и меню глав разделов.

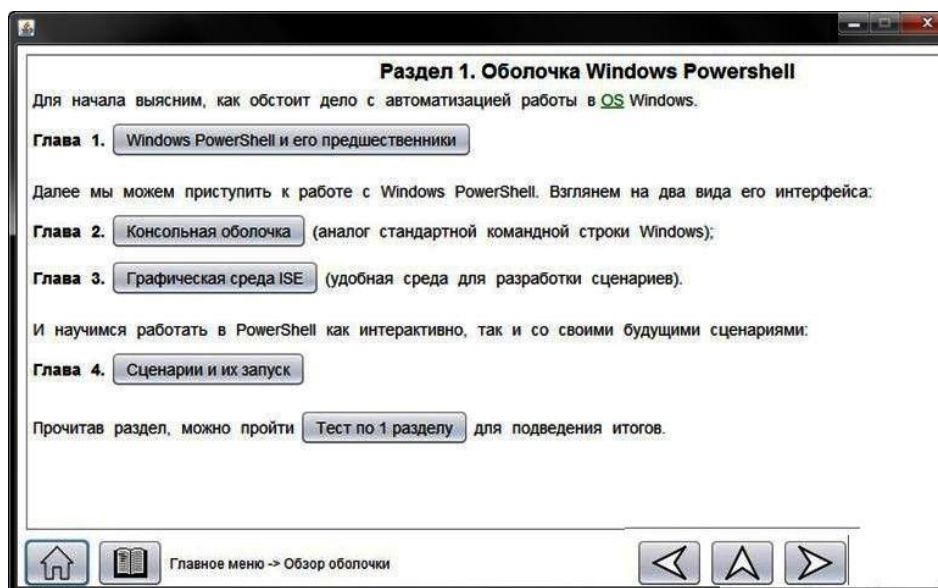


Рисунок 4 - Пример страницы меню раздела.

Теоретические страницы содержат собственно обучающий материал. Количество теоретических страниц в каждой главе очевидно различно, каждая страница содержит небольшое количество материала для удобства его восприятия.

Страницы практики присутствуют в конце каждой главы каждого раздела учебного пособия.

Страницы тестов завершают каждый раздел. Эти страницы являются интерактивными, то есть, на странице учащийся отвечает на предложенные вопросы и инициирует проверку ответов.

Электронный учебник содержит Глоссарий - словарь терминов, встречающихся в тексте, и их определение. Панель навигации содержит кнопку «Словарь» (глоссарий), которая открывает его в отдельном окне. Глоссарий реализован как независимая база данных, и может быть открыт постоянно, не препятствуя листанию страниц (рис.5).

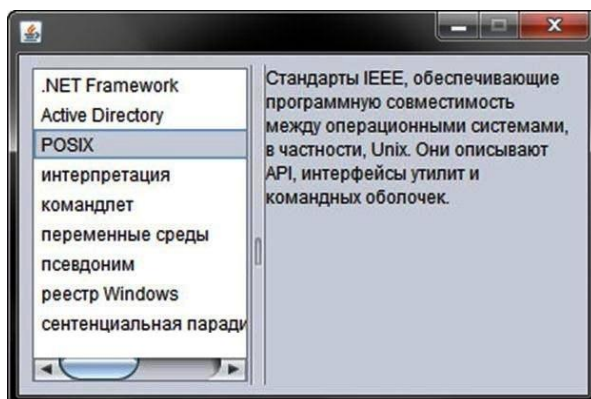


Рисунок 5 - Внешний вид открытого окна глоссария.

На самом деле, глоссарий создан в виде текстового файла, каждая строка в котором описывает одно понятие. Когда по нажатию кнопки глоссарий загружается, его строки будут считаны в базу данных справочника.

Реализация практических и тестовых заданий

Интерактивная часть учебного пособия включает в себя практические работы и тестовые вопросы по каждому разделу учебника.

Задания на практическую работу зависят от тематики раздела и призваны закрепить полученные знания на практике. Задание может быть сформулировано, как набор вопросов, на которые надо дать ответы, или некоторая работа для самостоятельного выполнения учащимся. Страница практики по типу аналогична теоретической странице - в ней может располагаться текст и изображения. Пример страницы практики, предполагающей размышление учащегося над приведенными вопросами, приведен на рис.6.

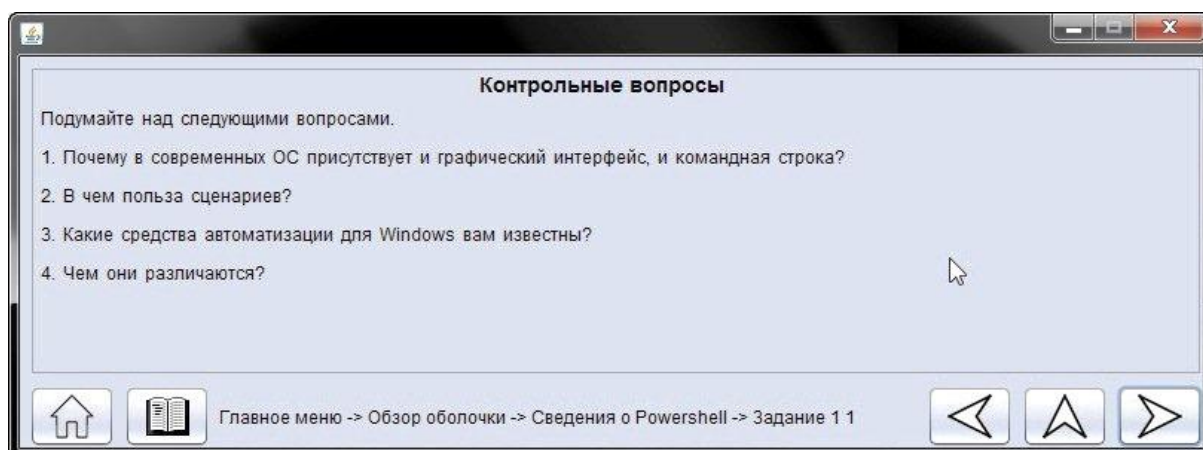


Рисунок 6 - Пример страницы практики с вопросами.

Пример страницы с тестовыми вопросами по разделу приведен на рис.7.

Требуется выбрать правильный вариант ответа из нескольких предложенных. После нажатия кнопки «Проверить» происходит проверка приведенных ответов, и рядом с вопросом отображается результат проверки - верен ли выбранный ответ или нет. Тест можно проходить неограниченное число раз.

Среда исполнения

Учебное пособие предлагается на CD-диске с автозапуском. В операционной системе требуется наличие установленной виртуальной машины Java Runtime Environment (JRE) версии не ниже JRE7.

Заключение

Разработанный электронный учебник обладает упорядоченной иерархической структурой. Он является методически полным мультимедийным образовательным ресурсом - содержит теоретические материалы, практические задания и тестовые вопросы, справочные материалы. Учебное пособие разработано на кафедре «Вычислительные системы, сети и информационная безопасность» и используется студентами при изучении дисциплин «Системное администрирование» и «Администрирование операционных систем».

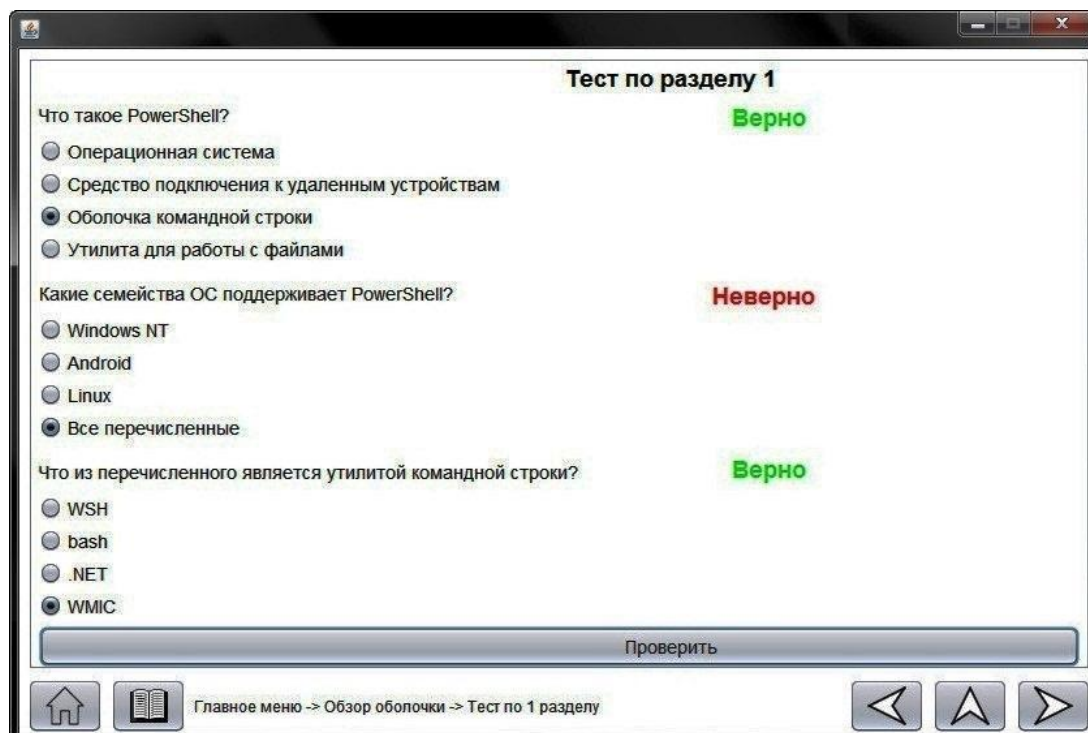


Рисунок 7 - Пример страницы с тестовыми вопросами по разделу.

Литература

1. Монахов, В.В. Язык программирования Java и среда NetBeans. 3-е издание /В.В.Монахов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2008. -640 с.
2. Эккель Б. Философия Java. 4-е издание /Б.Эккель. - СПб: Питер, 2019. -1168 с.
3. Станек, У.Р. Windows PowerShell 2.0: справочник администратора / У.Р.Станек.- СПб.:БХВ-Петербург, 2010. – 416 с.
4. Попов, А.В. Введение в WindowsPowerShell /А.В.Попов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2015. -464 с.
5. Коробко, И.В. PowerShell как средство автоматического администрирования / И.В.Коробко. - М.: ДМК Пресс, 2017. -224 с.
6. Weltner T. Mastering PowerShell. – BBS Technologies, 2009. URL: http://eddiejackson.net/web_documents/Mastering-PowerShell.pdf (дата доступа 15.07.2024)

КОМПЛЕКС ПРАВОВЫХ ПРОТОКОЛОВ ДЕЙСТВИЙ ПО ОХРАНЕ И ЗАЩИТЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ГЛОБАЛЬНЫХ ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Ловцов Д. А., Кунин Е. И.

Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева Российской академии наук
+7 (916) 162-12-75, kei97@bk.ru

Работа посвящена созданию комплекса функционально взаимосвязанных правовых протоколов действий субъектов целевых информационных правоотношений по охране и защите результатов интеллектуальной деятельности (РИД) в глобальных телематических сетях (ГТС), который учитывает особенности размещения и распространения РИД в ГТС и базируется на представлении объединения информационных деятелей, участвующих в целевых информационных правоотношениях (обеспечение технического и организационно-правового функционирования части коммуникационной среды и ограничение доступа к РИД), инфосферы и их функционирования как целостной динамической эргасистемы.

Ключевые слова: правовые протоколы, информационные правоотношения в инфосфере (целевые), сайт в сети, результаты интеллектуальной деятельности, информационные объекты интеллектуальной собственности, авторские и (или) смежные права.

Set of legal protocols of actions for the protection of results of intellectual activity in global telematics nets. Lovtsov D. A., Kunin E. I., Lebedev Institute of Precise Mechanics and Computer Engineering of Russian Academy of Sciences

The work is devoted to the development of a set of functionally interrelated legal protocols for the actions of subjects of targeted information legal relations for safety and security of results of intellectual activity (RIA) in global telematics nets (GTN) which takes into account the peculiarities of the dissemination and distribution of RIA in GTN, and is based on the representation of an association of information doers involved in targeted information legal relations (ensuring the technical, organizational and legal functioning of part of the communication environment and restricting access to RIA), infosphere and their functioning as an holistic dynamic ergasystem.

Keywords: legal protocols, information legal relations in infosphere (targeted), website on the network, results of intellectual activity, information objects of intellectual property, copyright and (or) related rights.

Использование программно-технических средств является важным аспектом автоматизации процесса поиска неправомерно размещенных и распространяемых в части коммуникационной среды глобальных телематических сетей (ГТС) *результатов интеллектуальной деятельности* в виде информационных объектов интеллектуальной собственности (ОИС) [1]. Актуальность статьи обусловлена недостаточной разработанностью совокупности теоретических положений в сфере правовой охраны и защиты интеллектуальной собственности в ГТС в условиях увеличения количества размещаемых информационных ОИС и разнообразия состава коммуникационной среды.

Разработанный комплекс правовых протоколов начиная от обнаружения факта неправомерного распространения информационного ОИС и заканчивая ограничением оператором связи доступа к незаконно размещенной информации сопряжен с повторяющимися действиями и рутинными операциями по уведомлению информационных деятелей. Таким образом, использование средств автоматизации для выполнения отдельных шагов комплекса правового протокола действий по охране и защите интеллектуальной собственности в ГТС становится необходимой мерой в современных условиях. Это позволяет обеспечить эффективное (оперативное, обоснованное) обнаружение и реагирование (т.е. применение правового протокола действий) на факт неправомерного размещения и распространения информационного ОИС [2]. В настоящее время актуальной является задача по созданию информационной подсистемы поддержки принятия организационно-правовых решений по регулированию оборота РИД [3].

Существующие способы охраны и защиты результатов интеллектуальной деятельности в ГТС обусловили необходимость с целью повышения эффективности выявления, предотвращения правонарушения и решения правовых задач в сфере защиты интеллектуальной собственности в ГТС, а также принимая во внимание относительную простоту обеспечения организационно-технического функционирования сайтов и программных приложений в сети, на которых могут быть размещены информационные ОИС в ГТС, разработать правовые протоколы действий субъектов информационных правоотношений (публичных и частных) в инфосфере по охране и защите РИД [4]. Для разработки эффективных правовых протоколов действий субъектов информационных правоотношений в инфосфере по прекращению нарушения авторских и смежных прав следует учитывать особенности распространения информации в ГТС.

Владельцы части коммуникационной среды могут скрывать свой сетевой адрес по различным причинам: для повышения анонимности, для обхода географических ограничений, для затруднения определения реального сетевого адреса инфраструктуры владельца части коммуникационной среды и провайдера хостинга в целях защиты от *DDoS*-атак и др. Скрытие сетевого адреса инфраструктуры сайта в сети представляет собой эффективный метод защиты от *DDoS*-атак, так как эта процедура затрудняет злоумышленникам определение реального сетевого адреса сервера провайдера хостинга или владельца сайта, тем самым повышая сложность проведения атаки. К сожалению, легальной услугой по сокрытию сетевого адреса части коммуникационной среды пользуются не только законопослушные владельцы сайтов и программных приложений. Так, владельцы части коммуникационной среды, которые целенаправленно неправомерно распространяют информационные ОИС, используют технические способы сокрытия сетевого адреса сайта и (или) программного приложения от правообладателя в целях усложнения определения данных информационных деятелей, обеспечивающих организационно-техническое функционирование части среды в ГТС [1].

Для получения технической информации о частях коммуникационной среды активно используется сервис *Whois*. В некоторых случаях, компании, предоставляющие защиту от *DDoS*-атак, могут быть привлечены к ответственности за нарушение авторских и смежных прав, так как через сервис *Whois* будет отображаться информация о компании, предлагающей решение по защите от *DDoS*-атак. Примером такой компании, которая чаще всего встречается в материалах, опубликованных на официальном портале судов общей юрисдикции города Москвы, является Клаудфлэйр, Инк [5]. Иные особенности распространения информационных ОИС состоят в возможности трансграничной передачи

(распространения) информации и возможности выполнения действий по распространению информации анонимно и без согласия автора (иного правообладателя), разместившего информационный ОИС в ГТС [6].

Учитывая указанные особенности распространения информационных ОИС, а также обоснованную *концептуально-логическую модель* [7] взаимодействия информационных деятелей, участвующих в распространении информационных ОИС в инфосфере, разработан комплекс правовых протоколов действий субъектов целевых информационных правоотношений по прекращению нарушения авторских и смежных прав в ГТС.

Указанный комплекс состоит из трех сегментов: *первый* содержащий шаги, который правообладатель обязан выполнить перед обращением в органы публичной власти, с учетом расширенных действий по уведомлению информационных деятелей, участвующих в организационно-техническом обеспечении функционирования части коммуникационной среды, в которой неправомерно размещены информационные ОИС и, в случае, если устранить нарушения на указанном этапе не удалось, то правообладатель вправе инициировать выполнение правовых протоколов действий органов публичной власти – Мосгорсуда (*второй* сегмент) и Роскомнадзора с учетом проведения дополнительных проверок части коммуникационной среды, в которой обнаружен неправомерно размещенный или распространяемый информационный ОИС (*третий* сегмент). Правовой протокол правообладателя выступает в качестве исходной функциональной части указанного комплекса. Данный правовой протокол базируется на действиях, которые правообладатель вправе (а в рамках авторского правового протокола – обязан) совершать при обнаружении неправомерно распространяемого информационного ОИС согласно ст. 15.7 Федерального закона «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (далее – Закон об информации), и базируется на схеме защиты прав, представленной Роскомнадзором. Результатом выполнения комплекса правовых протоколов действий субъектов информационных правоотношений является ограничение доступа к части коммуникационной среды, в которой неправомерно распространяются информационные ОИС (см. *рисунок*).

Согласно актуальной редакции Закона об информации шаги, выполняемые в рамках внесудебных мер, не являются обязательными для правообладателя. Стоит отметить, что в рамках разработанного комплекса правовых протоколов действий по охране и защите результатов РИД в ГИС действия, выполняемые правообладателем в рамках *первого* сегмента, являются императивными и перед переходом ко *второму* и *третьему* сегменту он обязан направить заявление в адрес владельца части коммуникационной среды и иных информационных деятелей [6].

Взаимосвязанные правовые протоколы действий по ограничению доступа к неправомерно размещенным и распространяемым в ГТС информационным ОИС реализует следующую комплексную процедуру:

Шаг 1. Правообладатель обнаруживает неправомерно распространяемый информационный ОИС в ГТС. Поиск частей коммуникационной среды, на которых размещаются и распространяются такие объекты, может быть выполнен как в ручной режиме через поисковые системы, так и путем специализированных программных средств. Необходимо проверить, что данный случай распространения не подпадает под критерии свободного использования произведений в информационной, научной, образовательной или культурной сферах.

Шаг 2. Правообладатель определяет владельца части коммуникационной среды, контактная информация которого может быть размещена на страницах сайта и (или) программного приложения. В адрес владельца (в случае наличия технической возможности его определения) в дальнейшем будет направлено заявление, требования к которому детализировано в ст. 15.7 Закона об информации.

Шаг 3. В случае возможности установления контактных данных владельца части коммуникационной среды, на которой неправомерно распространяется информационный ОИС, правообладатель формирует и направляет в адрес владельца заявление о нарушении авторских и (или) смежных прав. При недостаточности сведений, указанных в заявлении о нарушении, владелец части среды вправе направить уведомление о восполнении сведений. В течение 24 *час* с момента получения указанного заявления (или уточнений по нему) владелец части коммуникационной среды предпринимает меры по устранению нарушения. Несмотря на то, что ст. 15.7 Закона об информации указывает на удаление информации владельцем сайта как на факт, который обязательно должен случиться в обозначенные сроки, на практике же владельцы не всегда устраняют нарушение после получения заявления. В случае если владелец части коммуникационной среды не устраняет неправомерно распространяемый информационный ОИС, то правообладатель определяет (с использованием технического сервиса *Whois* и направляет заявление информационному посреднику. При необходимости заявление направляется и иным информационным деятелям, участвующим в организационно-техническом функционировании сайта в ГТС или программного приложения.

Шаг 4. В случае если владелец части коммуникационной среды скрывает информацию о цифровой инфраструктуре за услугами специализированных компаний (см. пример с *Cloudflare, Inc* – Клаудфлэйр,

Инк.), то необходимо направить заявление указанному информационному деятелю с просьбой предоставить необходимую информацию для уведомления владельца части коммуникационной среды и (или) информационных посредников об обнаруженных неправомерно распространяемых информационных ОИС [10].

Шаг 5. В случае получения от субъектов целевых информационных правоотношений уведомления для уточнения (предоставления) сведений, направленных в изначальном заявлении, правообладатель направляет уточненные сведения.

Шаг 6. В случае устранения нарушения по смыслу Закона об информации (на *Шаг 1-5*), считается, что устранено правообладателем с использованием внесудебных мер.

Шаг 7. Если нарушение не устранено и не было получено уведомление для предоставления дополнительных сведений в течение 24 час, правообладатель инициирует выполнение *второго и третьего* сегмента комплекса правовых протоколов (направляет заявление в органы публичной власти с целью ограничения доступа к указанной части коммуникационной среды, в которой обнаружен неправомерно распространяемый информационный ОИС).

Шаг 8. Суд изучает предоставленные ему материалы, требования к которым указаны в ст. 144.1 Гражданского процессуального кодекса РФ (ГПК РФ).

Шаг 9. По результатам рассмотрения заявления, проверив представленные материалы, суд приходит к выводу о том, что заявление о принятии предварительных обеспечительных мер подлежит удовлетворению. В противном случае суд выносит определение о об отказе в принятии предварительных обеспечительных мер.

Шаг 10. После вынесения определения о принятии обеспечительных мер суд устанавливает процессуальный срок продолжительностью 15 дней со дня вынесения определения о принятии обеспечительных мер для подачи заявителем искового заявления. рамках подготовки дела к судебному предлагается выполнить дополнительную проверку в отношении ответчика (владельца части коммуникационной среды и (или) информационного посредника) в части того, является ли он компанией, оказывающей услуги, результатом которой будет скрыта техническая информация о цифровой инфраструктуре части коммуникационной среды. Т.е. выполнить действий по определению факта использования владельцем части коммуникационной среды и (или) информационного посредника средств сокрытия основного хостинг провайдера за серверами компаний-посредников. И в случае, если ответчик является такой компанией, то дополнительно предложить лицам, участвующим в деле, предоставить дополнительные материалы, доказывающие участие компании в неправомерном распространении информационных ОИС в ГТС.

Шаг 11. Правообладатель на основании вступившего в силу судебного акта (по результатам выполнения *второго* сегмента) обращается в Роскомнадзор о принятии мер по ограничению доступа к части коммуникационной среды. Роскомнадзор в течении 3 рабочих дней определяет провайдера хостинга части коммуникационной среды, на которой неправомерно распространяется информационный ОИС.

Шаг 12. Роскомнадзор проводит проверку, является ли информационный деятель, указанный в заявлении правообладателя, лицом, оказывающих услуги по скрыванию сетевого адреса части коммуникационной среды. В случае, если владелец части коммуникационной среды скрывает информацию о цифровой инфраструктуре за услугами специализированных компаний, то Роскомнадзор направляет уведомление указанному информационному деятелю с требованием предоставить необходимую информацию для уведомления владельца части коммуникационной среды и (или) информационных посредников об обнаруженных неправомерно распространяемых информационных ОИС.

Шаг 13. В случае если владелец части коммуникационной среды скрывает информацию о цифровой инфраструктуре за услугами специализированных компаний, то Роскомнадзор направляет уведомление указанному информационному деятелю с требованием предоставить необходимую информацию для уведомления владельца части коммуникационной среды и (или) информационных посредников об обнаруженных неправомерно распространяемых информационных ОИС [10].

Шаг 14. Роскомнадзор направляет установленному на *Шаге 12* провайдеру хостинга уведомление на русском и английском языке о нарушении авторских и (или) смежных прав. Фиксирует факт и время направления указанного уведомления.

Шаг 15. Проводится проверка устранения нарушения в части коммуникационной среды ГТС, указанной в заявлении о принятии мер по ограничению доступа, направленном правообладателем

Шаг 16. В случае неприятия ограничительных мер провайдером хостинга или иным информационным деятелем (см. *Шаг 2*), Роскомнадзор ограничивает доступ к части коммуникационной среды путем направления идентифицирующей информации о них операторам связи для принятия мер по ограничению доступа к части коммуникационной среды, на которой распространяется информационные ОИС. В результате требуется считать, что нарушение устранено с помощью *второго и третьего* сегмента комплекса правовых протоколов действий по охране и защите результатов интеллектуальной

деятельности в ГТС (устранено органами публичной власти с помощью ограничения доступа к части коммуникационной среды).

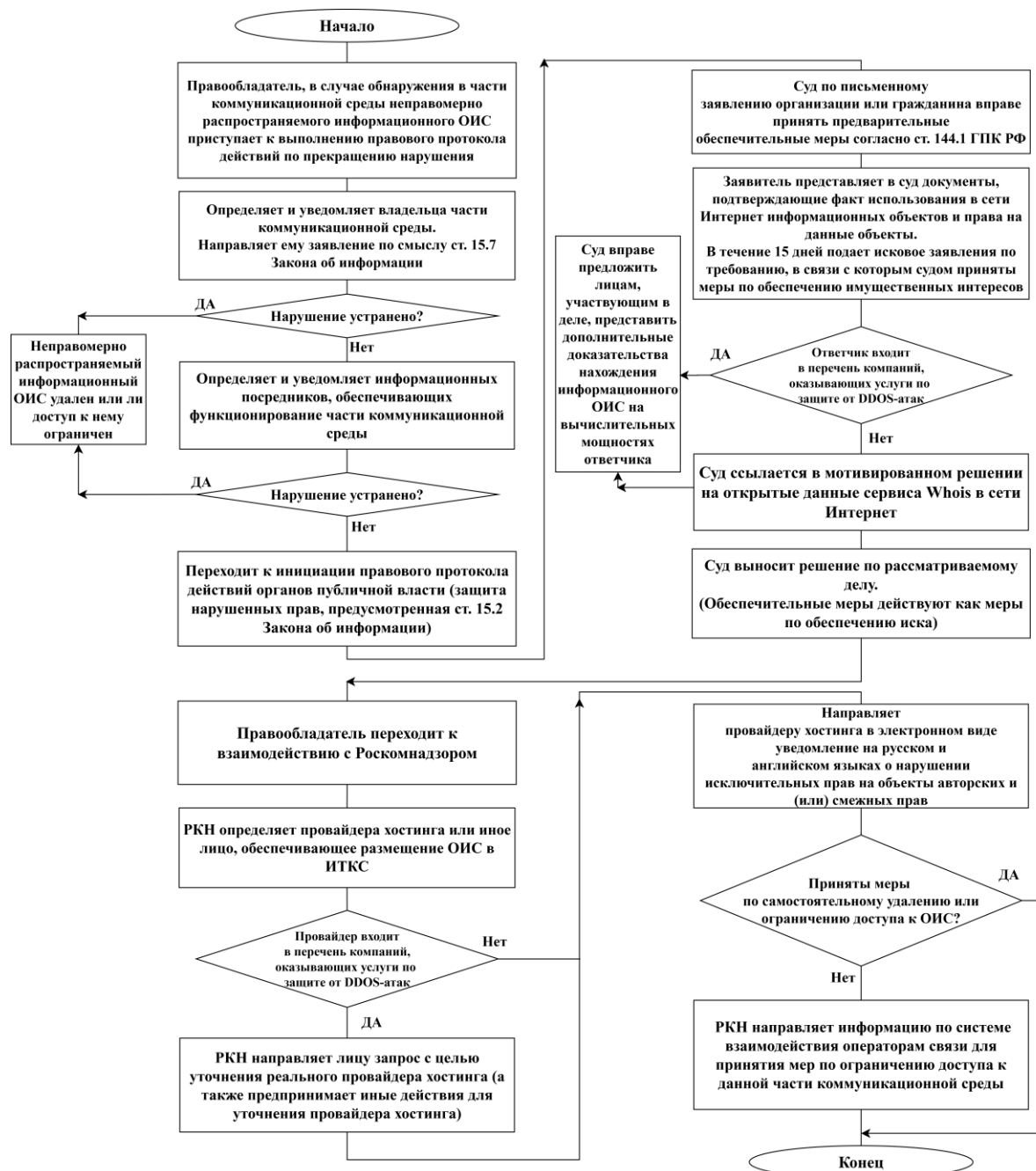


Рис. 1. Функциональная схема комплекса правовых протоколов действий по ограничению доступа к неправомерно распространяемым информационным ОИС

Если проанализировать сроки выполнения правового протокола действий правообладателя согласно текущей редакции Закона об информации, то получается, что время процедуры от первого до последнего пункта зависит от скорости реакции владельца части коммуникационной среды на заявление правообладателя и от наличия у него доказательств законности размещения информации. В идеальном случае, если владелец сайта сразу удаляет информацию, нарушающую авторские права, процедура может занять 24 час. Если владелец части коммуникационной среды запрашивает дополнительную информацию, то это добавляет ко времени выполнения процедуры еще 24 час, т.е. в идеальном случае выполнение процедуры в текущей редакции Закона об информации займет 48 час.

Выполнение *первого* сегмента комплекса правовых протоколов действий по охране и защите результатов интеллектуальной деятельности в ГТС, займет: 24 час в случае уведомления владельца части

коммуникационной среды и устранения им нарушения; 48 *час* в случае уведомления информационных посредников и ограничения доступа к неправомерно распространяемому информационному ОИС с их участием; 72 *час* в случае уведомления владельца части коммуникационной среды, неполучения от него ответа или невыполнения действий по ограничению доступа и последующего установления информационных посредников у лица, оказывающего услуги, результатом которых будет скрыта техническая информация о цифровой инфраструктуре части коммуникационной среды.

Внесудебные меры, упомянутые в Законе об информации, не являются обязательными, но являются правом правообладателя (в разработанном правовом протоколе – внесудебные меры обязательны к выполнению). Сроки реализации процедуры ограничения доступа к информационным ОИС рассчитываются следующим образом: Роскомнадзор на основании вступившего в законную силу судебного акта (определения Московского городского суда о принятии предварительных обеспечительных мер) в течение трех рабочих дней осуществляет предусмотренные протоколом действия. В течение одного рабочего дня с даты получения уведомления от Роскомнадзора провайдер хостинга или иной поставщик информации уведомляет владельца части телекоммуникационной среды. В течение одного рабочего дня с даты получения уведомления провайдер хостинга или иной информационный деятель уведомляет владельца части коммуникационной среды, в дальнейшем в течение одного рабочего дня с получения уведомления владелец части коммуникационной среды или провайдер хостинга должны самостоятельно ограничить доступ к информационному ОИС. В случае невыполнения действий, в течение одного рабочего дня с момента получения информации об этом от Роскомнадзора оператор связи ограничивает доступ к неправомерно размещенному информационному ОИС в ГТС.

Таким образом, реализация процедуры без учета ожидания получения определения Мосгорсуда о принятии предварительных обеспечительных мер максимально занимает 5 рабочих дней и 24 *час*. Отсюда усредненное значение времени реализации порядка действий с учетом последовательно выполнения всех этапов занимает 144 *час*. В случае ограничения доступа к части коммуникационной среды со стороны владельца части коммуникационной среды и (или) провайдера хостинга или иного информационного деятеля порядок занимает в среднем 120 *час*.

Временной выигрыш при применении разработанного комплекса правовых протоколов действий (без учета времени на вступление в силу судебного акта – определение Мосгорсуда о принятии предварительных обеспечительных мер) составляет в среднем 17% или 24% в зависимости от реализуемой стратегии выполнения восстановительных действий: «безконфликтной» (в среднем занимающей 100,8 *час*) или «конфликтной» (110,4 *час*), соответственно, за счет расширения вариативности действий правообладателя и использования дополнительных проверок сетевых адресов субъектов, участвующих в размещении и распространении информационных ОИС.

Разработанные правовые протоколы реализованы в модельно-алгоритмическом обеспечении специализированной проблемно-ориентированной Многоагентной экспертной информационной системы «Цифровой помощник судьи» [11].

Литература

1. Lovtsov D. A. Effective methods of protection of the intellectual activity results in infosphere of global telematics networks // Открытое образование. 2016. № 5. С. 85–88.
2. Кунин Е. И. Использование информационно-компьютерных технологий для автоматизации выполнения протокола действий правообладателя по защите авторских и (или) смежных прав // Правосудие/Justice. 2023. Т. 5. № 3. С. 124–139. DOI: 10.37399/2686-9241.2023.3.124-139
3. Ловцов Д. А., Кунин Е. И. Информационные технологии охраны и защиты авторских и смежных прав в сети Интернет // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: Сб. науч. тр. XX Междунар. науч.-практ. конф. (Махачкала, 1–10 октября 2023 г.) / МИРЭА. М.: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2023. С. 52–56.
4. Кунин Е. И. Использование технических средств для защиты авторских и смежных прав в сети «Интернет» // Российское правосудие. 2023. № 10. С. 29–37. DOI: 10.37399/issn2072-909X.2023.10.29-37
5. Кунин Е. И. Особенности определения провайдера хостинга сайта в сети «Интернет», на котором без разрешения правообладателя размещена информация, содержащая объекты авторских и (или) смежных прав // Современный ученый. 2023. № 5. С. 328–332.
6. Кунин Е. И. Внесудебные способы защиты интеллектуальной собственности в телематических сетях // Правовая информатика. 2022. № 2. С. 93–102. DOI 10.21681/1994-1404-2022-1-93-102
7. Кунин Е. И. Концептуально-логическая модель информационных правоотношений владельца сайта в сети «Интернет» с информационными посредниками // Образование и право. 2023. № 8. С. 343–348.
8. Кунин Е. И. Правовой протокол действий правообладателя для прекращения нарушения

авторских и (или) смежных прав в сети Интернет // Правовая информатика. 2023. № 2. С. 90–101. DOI 10.21681/1994-1404-2023-2-90-101

9. Свидетельство № 2023663004 RU. Программа автоматизации выполнения правового протокола действий правообладателя: Программа для ЭВМ / Кунин Е. И. (RU). № 2023661819; заяв. 06.06.2023; зарег. 06.06.2023 // Бюл. 2023. № 6.

10. Свидетельство № 2024614510 RU. Программа автоматизации выполнения правового протокола действий органа публичной власти по установлению провайдера хостинга: Программа для ЭВМ / Кунин Е. И. (RU). № 2024612826; заявл. 13.02.2024; зарег. 26.02.2024 // Бюл. 2024. № 3.

11. Разработка и применение информационно-математического обеспечения «искусственного интеллекта» в сфере автоматизированного судопроизводства (шифр «Инфосфера-24»): Отчёт о НИР / РГУП; Руководитель Д. А. Ловцов. Инв. № 8/12/24-10. М., 2024. 120 с.

НАГРУЗОЧНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ МЕЖСЕТЕВОГО ЭКРАНА ЗНАЧИМЫХ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Кравец А.Г., Любименко Д.А.

Волгоградский государственный технический университет
+7 (961) 061-66-02, allagkravets@yandex.ru, lubimenko-d@bk.ru

Доклад посвящен исследованию уязвимости межсетевого экрана сетей автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) значимых объектов критической информационной инфраструктуры (ЗОКИИ). Основная проблема предприятий, являющихся объектами критической информационной инфраструктуры (КИИ) – атаки злоумышленников. Разнообразие векторов атак делает защиту сетевого периметра затруднительной. Уменьшить вероятность проникновения злоумышленника позволяют превентивные меры. Проведенные эксперименты позволили определить параметры межсетевого экрана в случаях denial-of-service attack.

Ключевые слова: NGFW, критическая информационная инфраструктура, значимые объекты, межсетевого экран, denial-of-service attack.

OAD testing of the firewall of significant objects of critical information infrastructure. Kravets A.G., Lyubimenko D.A., Volgograd State Technical University

The report is devoted to the study of the vulnerability of the firewall of networks of automated process control systems (APCS) of significant objects of critical information infrastructure (SOCII). The main problem of enterprises that are objects of critical information infrastructure (CII) is attacks by intruders. The variety of attack vectors makes it difficult to protect the network perimeter. Preventive measures can reduce the likelihood of intruder penetration. The experiments conducted allowed us to determine the parameters of the firewall in cases of denial-of-service attack.

Keywords: NGFW, critical information infrastructure, significant objects, firewall, denial-of-service attack.

Введение

В эпоху активного развития информационно-коммуникационных систем важное место занимает вопрос информационной безопасности. Крупный и средний бизнес практически полностью автоматизировал процесс бухгалтерского учета, контроль доступа, другие сферы обеспечения работы предприятия. Следствием массовой цифровизации стала необходимость обеспечения кибербезопасности, защиты от внешних угроз. Особое внимание необходимо уделять автоматизированным системам управления технологическими процессами (АСУ ТП). Таким системам присваивается категория в соответствии с Федеральным законом №187-ФЗ – значимые объекты критической информационной инфраструктуры (ЗОКИИ).

Злоумышленники как субъект атаки в первую очередь рассматривают предприятия, связанные с оборонной промышленностью, энергетикой. Целью становятся базы данных, программно-аппаратные комплексы управления технологическими процессами. Частое явление – проникновение внутрь периметра, шифрование данных с последующими требованиями о выкупе данных. Предотвратить подобное возможно путем защиты сетевого периметра средствами межсетевого экрана Next Generation Firewall (NGFW). Использование NGFW предполагает необходимость тонкой настройки правил. Разработанная методика позволяет определить имеющиеся уязвимости и точки входа.

Постановка проблемы

Существует несколько методик расчета структурной устойчивости [1], позволяющих определить степень уязвимости системы к кибератакам. В случае использования методики перебора различных сочетаний проблема в том, что чем больше узлов в сети, тем сложнее становятся вычисления. Для расчетов можно использовать математическую модель критической информационной инфраструктуры (КИИ), включающую в себя ряд типовых компонентов (иерархические, инфраструктурные, конфигурационные). В основе выражения (1) лежит теория S-гиперсетей.

$$H = (G_0, G_1, \dots, G_m, G_{is}, G_v), \quad (1)$$

где G_0 – граф первичной физической топологии, $G_{1\dots m}$ – графы VPN-туннелей, протоколов различного уровня, G_{is} – граф политик ИБ, G_v – воздействие злоумышленника. На основе выражения (1) допускается построение диаграммы гиперграфов для дальнейшего вычисления вероятности вектора атаки. Для топологий, включающих в себя сравнительно небольшое количество узлов (менее 20), использование данного расчета уместно [2].

Практическое применение методики расчета

Описанная выше математическая модель имеет ряд ограничений, связанных со сложностью некоторых объектов. Обойти такие ограничения возможно путем использования сетей Петри [3]. Для наглядности можно использовать раскрашенные вложения. Таким способом воспроизводится работа ЗОКИИ, появляется возможность получения итогового результата и его последующего анализа.

Факт воздействия злоумышленника на инфраструктуру определяется динамикой гиперграфа. Сформируем выражение для имитации работы схемы гиперграфа:

$$S = (\{R_d, R_{is}, R_v\}, \{F_d, F_{is}, F_v\}, \{J_d, J_{is}, J_v\}, N_0) \quad (2)$$

где R_d – максимальная величина допустимых значений ЗОКИИ, R_{is} – максимальная величина позиций политик ИБ, R_v – максимальное количество воздействий нарушителя, F_d – максимальное количество допустимых переходов, F_{is} – максимальное множество переходов политик ИБ, F_v – максимальное множество воздействий нарушителя, J_d – максимальное множество дуг допустимых переходов, J_{is} – допустимое множество дуг событий политик, J_v – максимальное множество дуг событий воздействия нарушителей, N_0 – начальное состояние сети [4].

Работу объектов КИИ формирует стек протоколов разных уровней OSI (Eth, VLAN, ARP, RSTP, IP, ICMP, L2VPN) (рис.1).

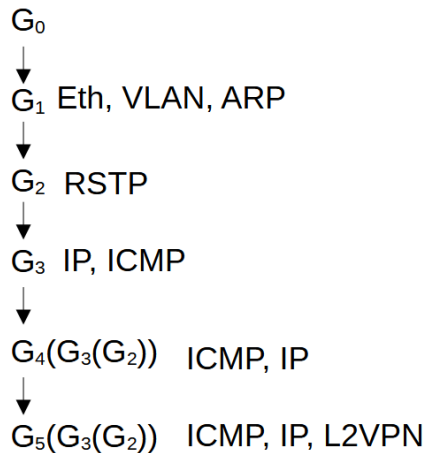


Рисунок 1 – Вложения графов гиперсетей

На рисунке 1 отражена схема работы передачи данных между отдельными объектами КИИ. Он отображает типовую топологию, на примере которой можно выполнить все необходимые расчеты [5]. Вершины графов второго, третьего, четвертого и последующих уровней определяются ребрами. Все они участвуют в работе протоколов различных уровней. Рисунок 2 описывает стандартную топологию – G_0 . Первые три номера (1, 2, 3) – это конечные объекты (АСУ ТП). Номера с четвертого по шестой – коммутационное оборудование, работающее на уровне L2. Номера седьмой и восьмой – маршрутизаторы (роутеры, работающие на уровне L3). В схеме присутствует также оборудование поставщика связи – провайдера, которое маркируется номером девять и десять, работает на уровне L2, L3.

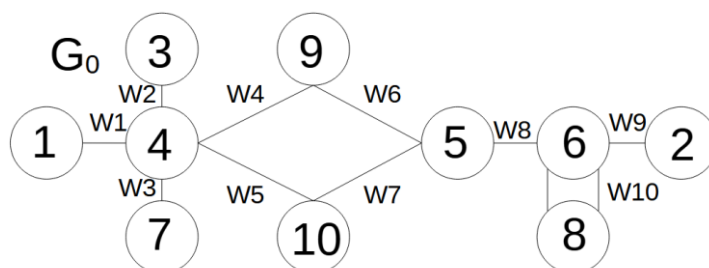


Рисунок 2 - Граф первичного типа для информационной транспортной системы ЗОКИИ

Для понимания необходимо сформировать наглядную схему режимов работы соединений по протоколам данных, реализованным на разных уровнях OSI [6]. На рисунке 3 представлена иллюстрация, описывающая сетевое взаимодействие:

- с установлением соединения (подключение, транспорт трафика, закрытие соединения/SYN, SYN-ACK, ACK);
- без установления соединения;
- ретрансляция данных;
- дуплексная/полудуплексная передача.

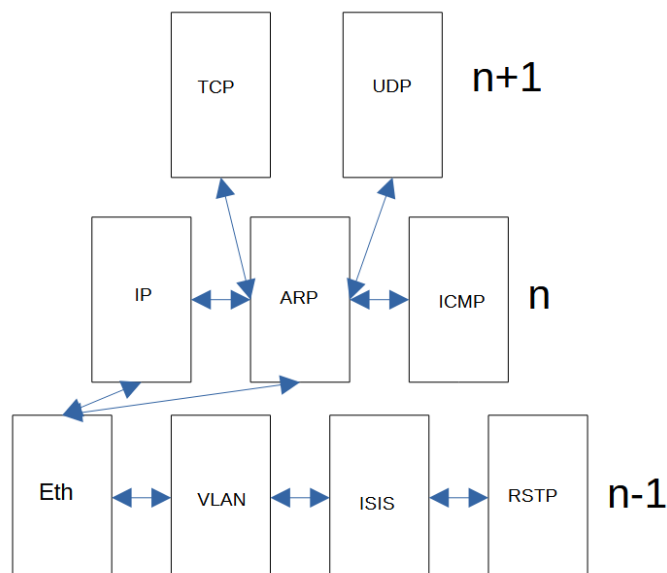


Рисунок 3 - Схема взаимодействия объектов, работающих на разных уровнях модели OSI

Описанная выше методика позволит отразить параметры объекта КИИ и в дальнейшем выполнить расчет вероятности проникновения злоумышленника. Преимуществом использования графов является возможность выполнения расчета с высокой точностью [7]. Моделирование таким способом позволяет учесть одновременно несколько различных факторов: способ передачи данных, тип эксплуатируемого оборудования, вероятность возникновения коллизий. Математические выражения (1) и (2) позволяют выполнить приближенный расчет [8].

Нагрузочное тестирование объектов ЗОКИИ, защищенных NGFW

Для выполнения нагрузочного тестирования используются виртуальные машины. Полноценная эмуляция denial-of-service attack (DoS) не всегда возможна. Использование специальной утилиты DNSPerf позволит проверить достоверность данных, полученных с использованием описанного выше расчета. Узким местом в любой инфраструктуре являются DNS-сервера. Нагрузочное тестирование будет представлять собой большое количество DNS-запросов за короткий промежуток времени. В качестве целевого объекта выступит authoritative DNS. Атака будет выполняться на сервер volga.so, который развернут в локальной сети и подключен через межсетевой экран [9]. Для работы потребуется заранее подготовить файл, содержащий в себе перечень запросов к выполнению (рис.4).

```
[user@localhost dnsperf-2.14.0]$ cat dns_queries.txt
volga.so ANY
www.volga.so ANY
test.volga.so ANY
static.volga.so ANY
volga.so AAAA
www.volga.so AAAA
test.volga.so MX
[user@localhost dnsperf-2.14.0]$
```

Рисунок 4 – Перечень DNS-запросов для нагрузочного тестирования

Для проведения опытного тестирования воспользуемся коммерческим дистрибутивом RHEL 9.0. Утилита, эмулирующая атаку на DNS-сервера, специально написана для использования в среде Red Hat Enterprise Linux. Использование утилиты позволит на практике проверить методику, выполнить нагрузочное тестирование DNS сервера, расположенных внутри сетевого периметра. Использование DNSPerf даст определить устойчивость к взлому программно-аппаратных комплексов, используемых для разрешения имен. Также данная утилита применяется для замера производительности.

Для тестирования DNS сервера будут опубликованы за NAT. Публикация выполнена средствами межсетевого экрана. На зоне untrusted разрешено использование DNS-запросов. При помощи аргументов задана полезная нагрузка: аргумент «-c» – количество имитируемых клиентов, отправляющих запрос; аргумент «-n» - количество прогонки файла с запросами. Стандартные значения для обоих аргументов – 100. При проведении экспериментов заданы значения 100 000 и 1 000 000 для каждого аргумента (рис.5), использовано зонирование защиты DoS (пакетов/сек) с IP SYN, UDP, ICMP. Цель экспериментов – выяснить, насколько успешно обрабатывает система обнаружения вторжений (COB) на межсетевом экране.

```
user@user-Virtual-Machine:~$ dnsperf -s 10.10.3.10 -d dns_queries.txt -c 100000 -n 100000
DNS Performance Testing Tool
Version 2.14.0

[Status] Command line: dnsperf -s 10.10.3.10 -d dns_queries.txt -c 100000 -n 100000
[Status] Sending queries (to 10.10.3.10:53)
[Status] Started at: Fri Aug 9 11:57:05 2024
[Status] Stopping after 100000 runs through file
Warning: requested number of clients (-c 100000) per thread (-T) exceeds built-in maximum 256, adjusting
[Status] Testing complete (end of file)

Statistics:
I
Queries sent: 700000
Queries completed: 700000 (100.00%)
Queries lost: 0 (0.00%)

Response codes: NOERROR 200000 (28.57%), NXDOMAIN 500000 (71.43%)
Average packet size: request 29, response 102
Run time (s): 9.747019
Queries per second: 71816.829330

Average Latency (s): 0.000940 (min 0.000147, max 0.004342)
Latency StdDev (s): 0.000307
```

```
user@user-Virtual-Machine:~$ dnsperf -s 10.10.3.10 -d dns_queries.txt -c 1000000 -n 1000000
DNS Performance Testing Tool
Version 2.14.0

[Status] Command line: dnsperf -s 10.10.3.10 -d dns_queries.txt -c 1000000 -n 1000000
[Status] Sending queries (to 10.10.3.10:53)
[Status] Started at: Fri Aug 9 13:06:43 2024
[Status] Stopping after 1000000 runs through file
Warning: requested number of clients (-c 1000000) per thread (-T) exceeds built-in maximum 256, adjusting
[Status] Testing complete (end of file)

Statistics:
Queries sent: 7000000
Queries completed: 7000000 (100.00%)
Queries lost: 0 (0.00%)

Response codes: NOERROR 2000000 (28.57%), NXDOMAIN 5000000 (71.43%)
Average packet size: request 29, response 102
Run time (s): 97.066342
Queries per second: 72115.625826

Average Latency (s): 0.000937 (min 0.000098, max 0.007178)
Latency StdDev (s): 0.000317
```

а) б)

Рисунок 5 – Пример запуска утилиты с атакой на сервер DNS Microsoft Windows Server при использовании а) 100 000 запросов, б) 1 000 000 запросов

Нагрузка в 100 000 имитируемых запросов (рис.5а) позволяет межсетевому экрану корректно их обрабатывать. Наблюдается высокая нагрузка на процессор и сетевой интерфейс. Длительность атаки (рис. 5б) отличается приблизительно в 10 раз. Средствами межсетевого экрана выставлены параметры «порог уведомления» = 3000 и «отбрасывание пакетов» = 6000. На основании полученных результатов (табл.1) был сделан вывод о необходимости уменьшить эти значения до 300 и 600 соответственно.

Таблица 1 – Сравнение результатов атаки на DNS сервер при использовании межсетевого экрана

Количество запросов в секунду	run time, s	Queries per second	Average Latency Max
100 000	9.747	71816.829	0.004342
1 000 000	97.066	72115.625	0.007178

Заключение

В заключении следует отметить, что выполненные эксперименты, в отличие от методики, описанной в [10], позволяют настроить защиту превентивно. Выполнение предварительного расчета и запуск скрипта для нагрузочного тестирования позволяет опытным путем определить максимальное количество запросов, обрабатываемое межсетевым экраном в режиме реального времени. Данное

тестирование было выполнено с использованием программно-аппаратного комплекса Usergate D200 имеющего сертификат соответствия ФСТЭК.

Литература

1. Методика расчета устойчивости системы технологического управления инфокоммуникационной сетью / Ю. В. Ковайкин, П. В. Лебедев, Р. Е. Лисейкин, С. В. Оранский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 2. – С. 258-265.
2. Любименко, Д. А. Проектирование системы защищенного дистанционного управления / Д. А. Любименко // I-methods. – 2023. – Т. 15, № 3.
3. Нгуен, Л. Т. Т. Анализ средств и моделей взаимодействия между компонентами в системе управления корпоративной мобильностью / Л. Т. Т. Нгуен, А. Г. Кравец, Н. З. Буй // Информационные технологии. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 64-72.
4. Security assessment based on attack graphs using NVD and MITRE ATT & CK database for heterogeneous infrastructures / R. O. Kryukov, E. V. Fedorchenko, I. V. Kotenko [et al.] // Information and Control Systems. – 2024. – No. 2(129). – P. 39-50.
5. Крыжановский, А. В. Управление инцидентами информационной безопасности / А. В. Крыжановский, И. С. Поздняк // Проблемы передачи информации в инфокоммуникационных системах : Сборник докладов и тезисов X Всероссийской научно-практической конференции, Волгоград, 23 мая 2019 года. – Волгоград: Волгоградский государственный университет, 2019. – С. 30-33.
6. Адамова, А. А. Проблемы информатизации и информационной безопасности цифровых производств / А. А. Адамова, А. Т. Темиров // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : Сборник трудов XX Международной научно-практической конференции, Махачкала, 01–10 октября 2023 года. – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского, 2023. – С. 87-92.
7. Унифицированная архитектура защищенной телекоммуникационной сети киберфизических систем / А. Н. Чесалин, А. В. Ставцев, Н. Н. Ушкова, А. А. Аксенова // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : Сборник трудов XX Международной научно-практической конференции, Махачкала, 01–10 октября 2023 года. – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского, 2023. – С. 184-187.
8. Gatchin, Y. A. Research of Vulnerabilities of Information Processing Processes Systems of Critical Information Infrastructure / Y. A. Gatchin, V. V. Sukhostat // 2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019), Санкт-Петербург, 03–07 июня 2019 года. Vol. [2]. – Санкт-Петербург: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 8840618.
9. Гатчин, Ю. А. Информационная безопасность критической информационной инфраструктуры: теоретико-методологические аспекты / Ю. А. Гатчин, В. В. Сухостат // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции, Сочи, 01–10 октября 2020 года / под.ред. С.У.Увайсов. – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н.Е.Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2020. – С. 213-217.
10. Любименко, Д. А. Разработка методики тестирования на уязвимости сертифицированного межсетевое экрана для защиты объектов критической информационной инфраструктуры / Д. А. Любименко // I-methods. – 2024. – Т. 16, № 1.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАУЧНОЙ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Назаров Н.А., Толчеев В.О.
Национальный Исследовательский Университет «МЭИ»
straider105@gmail.com, tolcheevvo@mail.ru

В работе рассматриваются функциональные возможности научной рекомендательной системы для выбора профильных статей, соответствующих профессиональным интересам пользователей. В настоящее время данная система ориентирована на использование в области Компьютерных наук (Computer Science). В ней реализованы алгоритмы машинного обучения для проведения классификации статей (модель RoBERTa) и генерации ключевых слов (модель KeyBERT). С помощью модели RoBERTa осуществляется высокоточное разделение статей на тематики. Ключевые слова, сформированные с помощью модели KeyBERT, используются для построения профилей пользователей. Анализируются

способы отбора статей для рекомендации пользователю, расчета их рейтинга, организации обратной связи для уточнения пользовательского профиля.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, рекомендательная система, машинное обучение, классификация, RoBERTa, KeyBERT.

Functional capabilities of a scientific recommendation system. Nazarov N.A., Tolcheev V.O. National Research University "MPEI".

The paper examines the functionality of a scientific recommendation system for selecting specialized articles that correspond to the professional interests of users. Currently, this system is focused on use in the field of Computer Science. It implements machine learning algorithms for classifying articles (model RoBERTa) and generating keywords (model KeyBERT). With the help of the RoBERTa, high-precision categorization of articles into topics is carried out. Keywords generated by KeyBERT are used to build user profiles. Also we consider the methods to recommend the articles to the user, calculating their rating, and organizing feedback to clarify the user profile.

Keywords: data mining, recommendation system, machine learning, classification, RoBERTa, KeyBERT.

Введение

В современном мире, где объемы научной информации растут с экспоненциальной скоростью, актуальность разработки и применения эффективных рекомендательных систем, способных оптимизировать поиск и отбор научных статей, непрерывно растет. Научные рекомендательные системы (НРекС) могут значительно ускорить процесс исследований, предоставляя специалистам наиболее релевантную и актуальную информацию.

Тем не менее создание эффективной (НРекС) требует решения ряда сложных задач, начиная с выбора и обработки источников информации и заканчивая разработкой алгоритмов для сопоставления найденных документов с индивидуальными научными интересами и предпочтениями пользователей. Особую сложность представляет обработка массивов научных статей, которые зачастую являются «многотемными» и могут соответствовать нескольким классам (рубрикам предметной области).

В данной работе представлен подход к созданию научной рекомендательной системы, основанный на интеграции передовых технологий обработки естественного языка (NLP), таких как модели на основе архитектуры Трансформер, включая BERT и RoBERTa. Эти модели демонстрируют высокие показатели качества в задачах классификации и семантического анализа текстовой информации [1,2].

Обзор НРекС показал, что чаще всего для реализации таких систем используется контентно-ориентированная фильтрация, предусматривающая построение и уточнение профиля (модели, портрета) пользователя [3,4]. Правильно построенная модель пользователя позволяет существенно улучшить выдачу документов, соответствующих его информационной потребности.

В данной работе рассматривается НРекС, предоставляющая рекомендации в области Компьютерных наук (Computer Science). Предполагается, что интересы пользователя соответствуют следующим тематикам: Экспертные системы, Нейронные сети, Робототехника, Нечеткая логика, Информационный поиск и рекомендательные системы, Компьютерное зрение, Текстовый анализ, Системы управления, Базы данных, Кибербезопасность.

Функциональные возможности НРекС

Разрабатываемая контекстно-ориентированная НРекС обладает рядом ключевых функциональных возможностей, направленных на повышение точности и релевантности рекомендаций научных публикаций. Основные из них включают:

- Сбор, хранение и предварительная обработка текстовых данных (включая векторизацию). Этот модуль системы осуществляет автоматизированный сбор текстовых данных из различных научных источников и преобразование документов в векторный вид, пригодный для дальнейшего анализа. Векторизация текстов осуществляется с использованием нейросетевой модели RoBERTa.
- Построение профиля пользователя. На основе введенных в систему данных формируются профили пользователей, включающие информацию об их научных интересах и предпочтениях. Это позволяет системе адаптировать рекомендации под индивидуальные потребности пользователей.
- Выработка и оценка рекомендаций. На основании введенного профиля пользователя формируется список рекомендаций.

Рассмотрим более подробно функциональные возможности НРекС.

Сбор, хранение и предварительная обработка текстовых данных.

Для формирования начального набора данных, необходимых для обучения и тестирования системы, используется архив электронных научных статей - «ArXiv.org» [5], который является одним из

Таблица 2 – Результаты классификации

Класс	Точность	Полнота	F1-мера
Экспертные системы	0.9198	0.9898	0.9535
Нейронные сети	0.9346	0.9852	0.9592
Робототехника	0.9303	0.9303	0.9303
Нечеткая логика	0.9845	0.9695	0.9770
Информационный поиск, рекомендательные системы	0.9621	0.8458	0.9002
Компьютерное зрение	0.9707	0.9343	0.9522
Текстовый анализ	0.9261	0.9682	0.9467
Системы управления	0.8927	0.9242	0.9082
Базы данных	0.9565	0.9565	0.9565
Кибербезопасность	0.9596	0.9453	0.9524
<i>Макро-усреднение</i>	0.9437	0.9449	0.9436

С целью дальнейшего углубления тематической спецификации и выделения уникальных исследовательских направлений внутри каждой основной тематики была проведена кластеризация с помощью метода *k*-средних. При обнаружении разбиения класса на несколько устойчивых групп документов можно использовать эти «подклассы» для построения начального профиля пользователя, в большей степени учитывающего его предпочтения [6]. Проведенные исследования показали высокий уровень однородности внутри всех сформированных классов и нецелесообразность их дальнейшего разбиения для детализации профиля пользователя.

Формирование профиля пользователя

Разработка и формирование профиля пользователя является важным компонентом в реализации научной рекомендательной системы, поскольку именно персонализированный подход позволяет достичь высокого качества и релевантности рекомендаций. Существуют разные способы построения профиля пользователя, рассмотрим более подробно два подхода, реализованные в НРекС.

1. Использование ключевых слов, что позволяет пользователю конкретизировать свои профильные интересы через выбор наиболее подходящих терминов предметной области.

2. Загрузка пользователем названий статей, аннотаций и ключевых слов, которые отражают его информационные потребности.

При применении обоих подходов формируется усреднённое векторное представление статей, найденных, по ключевым словам, или загруженных пользователем. Это среднее векторное представление затем используется в качестве начального профиля пользователя, который может далее уточняться (на стадии выработки и оценки рекомендации).

В данной работе для генерации ключевых слов применяется модель KeyBERT, основанная на архитектуре BERT [8]. Эта модель позволяет выявлять наиболее информативные и значимые термины (и их двухсловные сочетания) в текстах. Использование KeyBERT упрощает процесс поиска статей и позволяет рассчитать их рейтинг [9].

Выработка и оценка рекомендаций

После проведения фильтрации и получения статей, соответствующих запросу, пользователь может получить начальные рекомендации двумя способами:

- в виде списка статей, содержащих указанные ключевые слова, т.е. проводится бинарная фильтрация статей, по ключевым словам, (при этом все ключевые слова равнозначны, появление каждого из них в тексте означает попадание публикации в список рекомендаций),

- в виде упорядоченного по рейтингу списка статей, рейтинг которых рассчитывается на основе частоты появления ключевых слов в тексте.

- в виде списка публикаций, упорядоченных по значению косинусной меры между векторными представлениями статьи и профиля пользователя.

Первые два варианта дают лишь грубое описание тематических интересов пользователя и нуждаются в уточнении. Это обычно реализуется путем введения обратной связи с пользователем. При наличии такой связи пользователь должен оценить выданные ему статьи или по балльной шкале (например, от нуля до пяти или десяти) или по бинарной шкале: «понравилось – не понравилось».

Такая обратная связь с пользователем позволяет постепенно модифицировать его профиль (обновлять пользовательский эмбединг), проводя усреднение с учетом позитивно оцененных статей. Далее профиль пользователя сравнивается с помощью косинусной меры со статьями указанной пользователем тематики. Косинусная мера рассчитывается по формуле [10]:

$$h(X, Y) = \cos \alpha = \frac{(X_d, Y_c)}{|X_d| * |Y_c|} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^{(d)} * Y_i^{(c)}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i^{(d)})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i^{(c)})^2}}, \text{ где}$$

X – Векторное представление статьи d.
Y – Векторное представление статьи c.
N – Размерность пространства.

Заключение

Нами рассмотрены основные функциональные возможности научной рекомендательной системы, разработанной для специалистов в области Компьютерных наук (Computer Science). НРекС использует современные нейросетевые подходы для реализации базовых операций: для классификации статей применяется модель RoBERTa, для генерации ключевых слов – модель KeyBERT. Применение этих подходов позволило организовать выдачу рекомендаций по десяти тематикам (Экспертные системы, Нейронные сети, Робототехника, Нечеткая логика, Информационный поиск и рекомендательные системы, Компьютерное зрение, Текстовый анализ, Системы управления, Базы данных, Кибербезопасность). В качестве информационного ресурса по Computer Science используется архив электронных научных статей - «ArXiv.org».

Проведенные исследования по составлению запросов и учета оценок пользователей, выставленных рекомендованным статьям, позволили оценить качество функционирования каждого из модулей НРекС и сформулировать направления дальнейшего развития работ по совершенствованию НРекС. К ним прежде всего относятся:

1. Реализация нейросетевого подхода (на основе BERT) для ранжирования выдачи.
2. Разработка и тестирование более сложных алгоритмов усреднения векторных представлений, таких как BART, которые могут позволить провести более качественную суммаризацию содержания статьи.
3. Проведение масштабных экспериментов с участием реальных пользователей для оценки степени их удовлетворенности.
4. Анализ близости профилей пользователей для возможного использования публикаций с высокой оценкой для просмотра другими специалистами.
5. Учет типа пользователя («опытный», Experienced или «начинающий», Junior) при выработке рекомендаций.
6. Проведение исследований для оценки эффективности разработанной НРекС при использовании в других предметных областях.

Литература

1. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1810.04805>.
2. Liu Y., Ott M., Goyal N., Du J., Joshi M., Chen D., Levy O., Lewis M., Zettlemoyer L., Stoyanov V. RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach. 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1907.11692>
3. Beel J., Gipp B., Langer S., Breiting C. Research-paper recommender systems: a literature survey, International Journal on Digital Libraries, pp. 1-34, 2015.
4. Bai X., Wang M., Lee I., Yang Z., Kong X., Xia F. Scientific paper recommendation: a survey. IEEE Access, vol. 7, 2019, pp. 9324–9339
5. arXiv.org e-Print archive. URL: <https://arxiv.org/>.
6. Kogan M., Nissim N., Rokach L., Elovici Y. Clustering of Scientific Articles Based on Graphs of Terms. Expert Systems with Applications, 2017, 68, 187-202..
7. Jolliffe I.T. Principal Component Analysis. Springer Series in Statistics, 2002. 2nd ed. 487 p.
8. Grootendorst M. KeyBERT: Minimal keyword extraction with BERT. 2020. URL: <https://github.com/MaartenGr/KeyBERT>
9. Vanderplas J. Python Data Science Handbook: Essential Tools for Working with Data. O'Reilly Media. 2016. 548 p.
10. Reimers N., Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1908.10084>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В НАУЧНЫХ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Назаров Н.А., Шарифуллин М.Р., Толчеев В.О.
Национальный Исследовательский Университет «МЭИ»
straider105@gmail.com, SharifullinMR@mpei.ru, tolcheevvo@mail.ru

В данной статье рассматривается использование ключевых слов для построения профиля пользователя в научных рекомендательных системах (НРекС). Предложен подход на основе модели KeyBERT для автоматического выявления значимых терминов (и их комбинаций в виде биграмм и триграмм) в текстах научных публикаций. Исследование проводится на основе научных публикаций из открытого ресурса ArXiv.org, выборка содержит публикации по десяти тематикам в области компьютерных наук. В работе анализируется распределение ключевых слов по классам и оценивается степень их информативности для описания конкретных тематик. Рассмотренный подход существенно расширяет возможности пользователя по формализации своей информационной потребности и позволяет сформировать начальный профиль для дальнейшего уточнения в НРекС.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, машинное обучение, визуализация, RoBERTa, KeyBERT.

Using keywords to build a user profile in scientific recommendation systems. Nazarov N.A., Sharifullin M.R., Tolcheev V.O. National Research University "MPEI".

This article discusses the use of keywords to build a user profile in scientific recommendation systems (SRS). An approach based on the model KeyBERT, which is proposed for the automatic identification of significant terms (and their combinations) in the texts of scientific publications. The research is based on scientific publications from an open source ArXiv.org, the sample contains publications on ten topics in the field of Computer Science. The paper analyzes the distribution of keywords by class and evaluates the degree of their informativeness to describe specific topics. The approach considered in this paper significantly expands the user's ability to formalize their information needs and allows them to form an initial profile for further clarification in the SRS.

Keywords: data mining, machine learning, visualization, RoBERTa, KeyBERT.

Введение

В рамках осуществления своей профессиональной деятельности научные сотрудники заинтересованы в своевременном получении тематической информации, необходимой для проведения собственных исследований. Наиболее перспективный способ решения этой задачи заключается в построении персонального профиля специалиста (пользователя), отражающего его предпочтения и информационные потребности (ИП). Особое значение правильно настроенный профиль имеет для научных рекомендательных систем (НРекС), широко используемых на практике для повышения эффективности научной деятельности. Однако для создания профиля (модели) пользователя требуется наличие исходного набора документов (научные статьи, доклады, монографии), описывающих его конкретные, зачастую узко профессиональные интересы. Существуют различные варианты формирования начального множества текстов для построения профиля. Наиболее часто применяются или задание «желаемых» публикаций (статей-образцов, которые высоко оцениваются пользователем и соответствуют его ИП) или поиск, по ключевым словам, (КС), отражающим специфику предметной области [1]. Второй подход, как представляется более общий и не зависит от квалификации пользователя (и наличия уже известных релевантных публикаций). Далее под КС понимаются слово или словосочетание из двух (или трех) терминов, которые описывают важные понятия предметной области и имеют существенную семантическую значимость для понимания текста.

Формирование и анализ ключевых слов для построения профиля пользователя

Выявление КС в научных текстах является сложной задачей и для ее решения применяются различные подходы [2]. В данной работе для генерации ключевых слов используется модель KeyBERT, основанная на нейросетевой архитектуре BERT [3]. Эта модель выявляет наиболее информативные и значимые термины (или их сочетания) в текстах. Использование KeyBERT улучшает процесс поиска и фильтрации статей, а также способствует более точному пониманию их содержания. Одной из проблем, возникающих в НРекС, является ранжирование документов, то есть их упорядочивание по степени релевантности и полезности для пользователя. В данной работе ранжирование осуществляется на основании частоты совпадения КС.

Векторизация текстовых данных (ключевых слов) проводится с помощью предобученной модели на основе архитектуры Трансформер – RoBERTa, являющейся улучшенной модификацией BERT.

RoBERTa демонстрирует высокие и стабильные показатели качества в задачах семантического анализа текстовой информации [4].

Далее исследуется возможность построения профиля пользователя по документам, найденным по КС в области Компьютерных наук (Computer Science). Выборка формируется из открытого информационного ресурса – архива электронных научных статей – «ArXiv.org» [5] по десяти тематикам: Экспертные системы (Expert Systems), Нейронные сети (Neural Nets), Робототехника (Robotic), Нечеткая логика (Fuzzy Logic), Информационный поиск и рекомендательные системы (Information Retrieval, Recommender Systems), Компьютерное зрение (Computer Vision), Текстовый анализ (Text Mining), Системы управления (Control Systems), Базы данных (Database), Кибербезопасность (Cyber Security). Размер выборки составляет 10 тысяч документов, все тематики содержат одинаковое количество публикаций. В нашем исследовании используются не полнотекстовые научные статьи, а их библиографические описания, основными разделами которых являются название и аннотация.

Особенностью информационного ресурса «ArXiv.org», из которого формировалась выборка, является отсутствие в большинстве публикаций ключевых слов, которые были бы заданы авторами или соответствовали внутреннему рубрике. С помощью KeyBERT для исследуемой выборки получено 47943 КС, из них 354 термина, 5231 биграмм и 42358 триграмм.

Проанализируем компактность распределения КС по классам. Так как количество выявленных КС достаточно большое, то для визуализации берется тысяча ключевых слов, имеющих наибольшую частоту встречаемости. В качестве средства визуализации используется алгоритм уменьшения размерности t-sne (t-распределенное стохастическое вложение соседей).

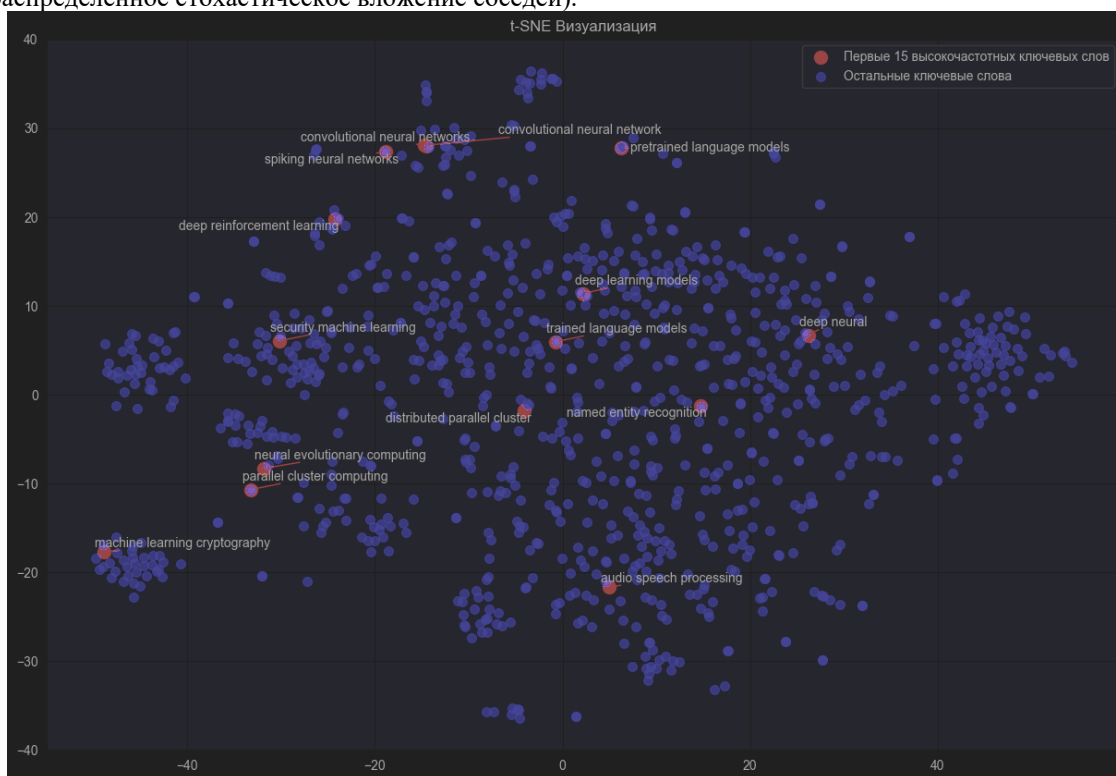


Рисунок 1 – Визуализация ключевых слов выборки методом t-sne

На рисунке 1 пятнадцать наиболее частотных КС выделены красными маркерами. Некоторые ключевые слова расположены близко друг от друга и объединяются в кластеры, которые соответствуют одной из тематик Computer Science.

На рисунке 2 представлены самые высокочастотные ключевые слова, сгенерированные KeyBERT по сформированной выборке. Наряду с КС, которые характерны для всех тематик Computer Science, на рисунке 2 также представлены более узко специализированные (информативные) КС, описывающие конкретные научные направления.

Отметим, что в наших исследованиях не учитывалось место появления КС – название или аннотация. Вместе с тем учет этой информации может позволить более точно рассчитать рейтинг публикации и сделать корректную рекомендацию. В частности, можно присваивать больший рейтинг статьям, у которых КС, заданные пользователем, встречаются в названиях.

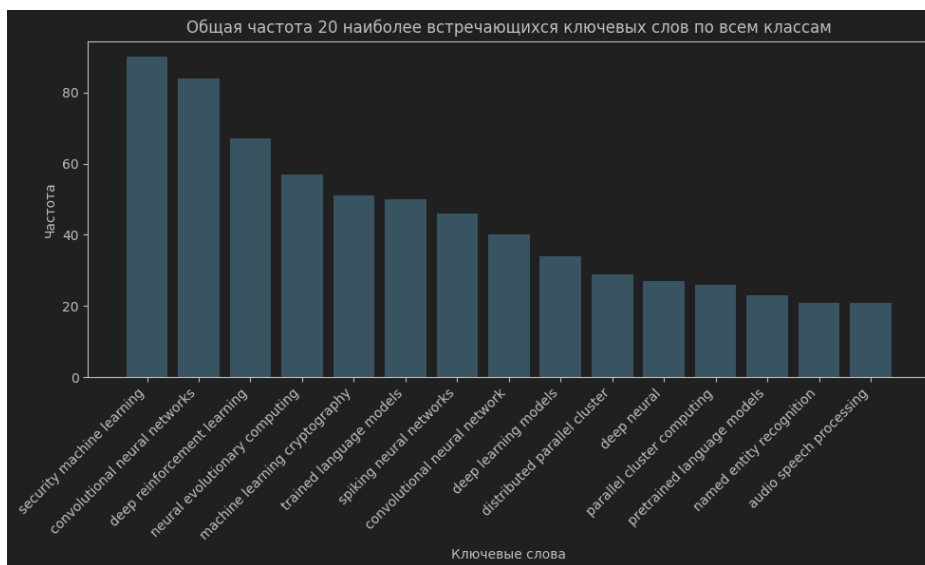


Рисунок 2 – Двадцать наиболее частотных ключевых слов по всем классам

Также обратим внимание на вид КС. Более половины ключевых слов, представленных на рисунке 2, являются триграммами, которые занимают первые пять позиций среди наиболее часто встречающихся КС. Использование триграмм может позволить пользователю увеличить точность поиска релевантных статей за счет формирования специализированных и детализированных запросов, соответствующих ИП. Однако это будет сопровождаться потерями в полноте (т.е. выдаваться будут не все документы, удовлетворяющие ИП пользователя) [6].

Как следует из рисунка 1, в области Computer Science тематики достаточно сильно пересекаются и имеют значительное количество общих КС. На тепловой карте (рисунок 3) отражена встречаемость двадцати высокочастотных словосочетаний во всех классах выборки.

Анализ тепловой карты позволяет сделать следующие выводы:

- Некоторые высокочастотные КС появляются в нескольких тематиках. Это объясняется применением в ряде научных направлений Computer Science одних и тех же моделей, и методов. Вместе с тем представляется возможным выделить тематику, в которой появление КС наиболее вероятно.

- Для ряда классов получены «эталонные» и «классообразующие» КС. Из представленных на рисунках 2 и 3 такими являются "convolutional neural networks" для Computer Vision или "security machine learning" для Cyber Security. Однако высокочастотные КС не способны полностью описать тематики и необходимо выделять информативные КС из среднечастотных ключевых слов.

- Среди выявленных КС имеются близкие синонимы (например, "trained language models" и "pretrained language models", "deep learning models" и "deep neural"). В связи с этим требуется разработка дополнительной процедуры, устраняющей проблему синонимии среди одно-, двух- и трехсловных КС, которые генерируются с помощью KeyBERT.

Анализ КС, выделенных по всей выборке, не позволяет в полной мере оценить набор словосочетаний, доступных пользователю НРекС для формирования запроса по конкретной тематике. Поэтому далее более подробно рассматриваются КС, полученные для класса «Текстовый анализ». На рисунке 4 приведены пятнадцать наиболее часто встречающихся ключевых слов, появляющихся в названиях и аннотациях публикаций по этой тематике.

На первых позициях оказались КС, хорошо описывающие тематику предметной области. Ряд из них соответствует названию известных научных направлений, по которым в Text Mining ведутся интенсивные исследования. Первые пятнадцать КС, представленные на рисунке 4, позволяют пользователю НРекС сформировать достаточно конкретный запрос для получения релевантных публикаций, на основе которых строится его начальный профиль. Также, как и в предыдущих исследованиях (см рисунки 1, 2 и 3), большинство КС является триграммами и среди них имеются близкие синонимы.

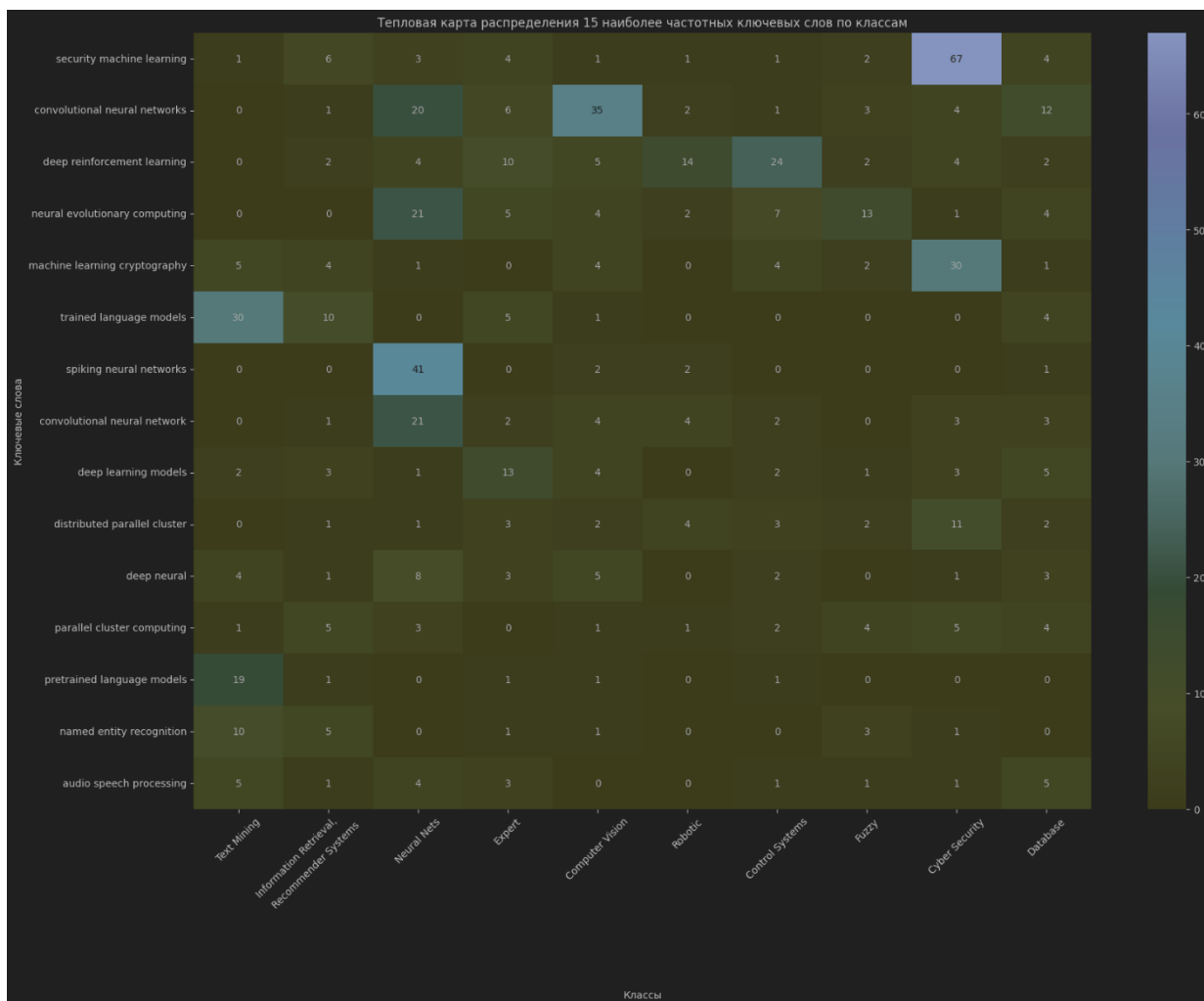


Рисунок 3 – Тепловая карта встречаемости двадцати наиболее частотных КС в классах выборки



Рисунок 4 – Пятнадцать наиболее часто встречающихся КС в классе «Текстовый анализ»

Заключение

В данной работе рассмотрены возможности построения начального профиля пользователя НРекС с помощью КС, сгенерированных на основе модели KeyBERT. Проведенный анализ показал, что

получаемые ключевые слова и их комбинации предоставляют широкие возможности пользователю для формализации ИП и получения релевантных публикаций для построения своего профиля в НРекС. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие предложения, которые способны улучшить предложенный подход:

- Для более компактного описания классов требуется устранить синонимию и сформировать общие векторные представления для близких понятий предметной области.
- Целесообразно разработать специальную процедуру выявления информативных КС, которые обладают высокой дискриминантной способностью и хорошо отделяют конкретный класс от других. В этих целях можно использовать специальные критерии информативности, которые чаще всего рассчитываются на основе хи-квадрат критерия (и его модификаций), взаимной информации или мер разнородности [7,8].
- Необходимо изучить возможность использования при расчете рейтинга публикаций информацию о местоположении КС (в названии или аннотации).

Литература

1. Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х. Введение в информационный поиск. М.: Вильямс, 2014. – 520 с.
2. Митрофанова О.А., Гаврилик Д.А. Эксперименты по автоматическому выделению ключевых выражений в стилистически разнородных корпусах русскоязычных текстов. Terra Linguistica. 2022. Т. 13. № 4. С. 22–40. DOI: 10.18721/JHSS.13402
3. Grootendorst M. KeyBERT: Minimal keyword extraction with BERT. 2020. URL: <https://github.com/MaartenGr/KeyBERT>
4. Liu Y., Ott M., Goyal N., Du J., Joshi M., Chen D., Levy O., Lewis M., Zettlemoyer L., Stoyanov V. RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach. 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1907.11692>
5. arXiv.org e-Print archive. URL: <https://arxiv.org/>.
6. Сэлтон Г. Автоматическая обработка, хранение и поиск информации. М: Советское радио, 1973. – 560 с.
7. Yang Y., Pedersen J.O. A Comparative Study on Feature Selection in Text Categorization. Proceedings of the 14th International Conference on Machine Learning ICML–97, 1997, pp.412–420.
8. Kuncheva L.I., Whitaker C.J. Measures of Diversity in Classifiers Ensembles and Their Relationship with the Ensemble Accuracy. Machine Learning, 51, 2003, pp. 181-207.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧАХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Альмов В.Н., Коробков Ю.Н., Черновдаров А.В.*

ПАО «Яковлев», *ООО «Научно-производственное объединение «НаукаСофт»

Yuriy.Korobkov@yakovlev.ru, *chernod@mail.ru

Работа посвящена развитию метода эксплуатации бортового оборудования по текущему техническому состоянию. Развитие такого метода связано, в том числе, с преодолением противоречия между необходимостью повышения оперативности контроля и уменьшением вероятности ошибочных решений. Разрешение такого противоречия предлагается на основе объединения информации от средств объективного контроля и от специалистов-экспертов, имеющих большой опыт технической эксплуатации. Информационную неопределенность при оценке состояния бортового оборудования предлагается уменьшить с использованием математического аппарата нечеткой логики.

Ключевые слова: воздушное судно, бортовое оборудование, эксплуатационный контроль, ошибки контроля, нечеткая логика.

Application of Fuzzy Logic in Problems of Operational Monitoring and Maintenance of Aircraft On-Board Equipment. Alymov V.N., Korobkov Yu. N., Chernodarov A.V.*, UAC «YAKOVLEV», Moscow, Russia, *NaukaSoft Research & Production Association, Ltd., Moscow, Russia.

The paper is devoted to the development of a method for operating on-board equipment based on the current technical condition. The development of this method is associated, among other things, with overcoming the contradiction between the need to increase the efficiency of monitoring and reduce the likelihood of erroneous decisions. The resolution of such a contradiction is proposed on the basis of combining information from objective monitoring means and from expert specialists with extensive experience in technical operation. It is proposed to reduce information uncertainty when estimating the state of on-board equipment using the mathematical apparatus of fuzzy logic.

Keywords: aircraft, on-board equipment, operational monitoring, errors of checking, fuzzy logic.

Введение

Разработка новых типов воздушных судов (ВС) сопровождается совершенствованием методов эксплуатации бортового оборудования (БО) ВС. Необходимость повышения оперативности контроля технического состояния и уменьшения стоимости послепродажного обслуживания ВС привела к внедрению метода эксплуатации по текущему техническому состоянию.

Упрощенная схема организационно-технического обеспечения эксплуатации ВС по текущему состоянию представлена на рисунке 1 [1].



Рисунок 1 – Схема организационно-технического обеспечения эксплуатации ВС по техническому состоянию

Такую схему можно представить в виде трех уровней информационной поддержки принятия решений инженерно-техническим составом, а именно: бортовая система технического обслуживания (БСТО) на основе встроенных систем контроля (ВСК), которые обеспечивают подготовку к вылету и функциональный контроль в полете БО; стационарные и мобильные наземные средства, расширяющие возможности ВСК, а также использующие информацию бортовых устройств регистрации (БУР).

При реализации метода эксплуатации по техническому состоянию, как правило, возникает противоречие между необходимостью повышения оперативности контроля и уменьшением вероятности принятия ошибочных решений. Возможный подход к преодолению указанного противоречия при техническом обслуживании БО ВС может быть связан с использованием виртуальной модели процедур контроля БО с заданным набором выполняемых функциональных задач [2]. Однако, в такой модели не в полной мере учитываются ошибочные или недостоверные оценки состояния БО с помощью бортовой системы технического обслуживания (БСТО) относительно исправности конструктивно-съемных элементов.

Предлагается оценки объективного контроля БСТО дополнять информацией от специалистов-экспертов, имеющих большой опыт технической эксплуатации. Тем самым, может быть снижена информационная неопределенность при оценке состояния БО ВС. В качестве средства, объединяющего такие оценки, предлагается использовать математический аппарат нечеткой логики [3].

1. Постановка задачи

Оценку технического состояния ВС можно рассматривать как оценку набора выполняемых функциональных задач. От надежности и оперативности оценки этих задач зависит время простоя ВС и, тем самым, экономические потери для эксплуатирующей организации.

Будем рассматривать функциональную задачу в качестве объекта контроля (ОК).

Для ОК будем задавать:

6. Совокупность компонентов, которые реализуют функциональную задачу ОК.

7. Функциональные связи между компонентами, которые обеспечивают взаимодействие компонентов при реализации функциональной задачи ОК.

Будем предполагать, что функциональная задача выполняется совокупностью последовательно соединенных K компонентов ВС (см. Рисунок 2).

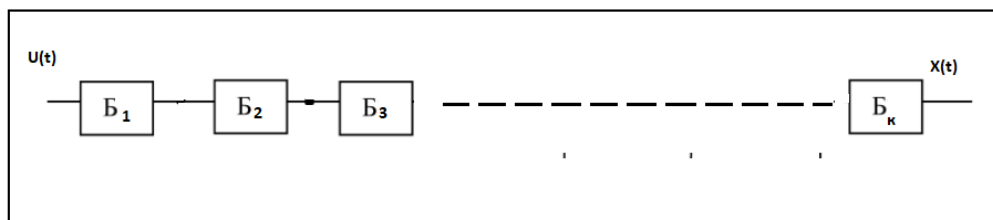


Рисунок 2 – Реализация функций ОК в виде последовательного набора K компонентов

Будем полагать, что для контроля выполнения функциональной задачи требуется оценить вектор выходных параметров ОК $X = \{x_1, x_2, \dots, x_r\}$, где r – число контролируемых параметров ОК.

Объект контроля для выполнения своей задачи использует набор входных параметров, который также может быть задан в виде вектора $U = \{u_1, u_2, \dots, u_q\}$, где q – число входных параметров ОК, которые необходимы для решения функциональной задачи.

Состояния ОК, которые подлежат распознаванию имеют вид $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, где n – число физически возможных работоспособных и неработоспособных технических состояний ОК.

Требуется на основе диагностики компонентов ОК с использованием БСТО и последующей экспертной оценки специалистами установить правило распознавания состояния ОК.

2. Метод реализации

Для объединения диагностической информации о состоянии ОК, полученной от БСТО и экспертных процедур, предлагается использовать теорию нечетких множеств [3]. В отличие от традиционных методов логического контроля элементы такого множества принимают любые значения в интервале $[0,1]$, а не только 0 или 1. Над нечеткими множествами вводятся логические операции, позволяющие переводить неоднозначные утверждения в язык формальных математических формул.

Совокупность (X, μ_A) является нечетким подмножеством A множества $X \rightarrow [0,1]$, где μ_A – функция, каждое значение которой интерпретируется как степень принадлежности точки из области $[0,1]$ множеству A . Функцию μ_A называют функцией принадлежности множества A .

Оценка технического состояния ОК на основе комбинации БСТО и экспертной оценки может быть построена на основе нечетких отношений.

Нечеткое отношение R на множествах X и Y задается функцией, каждое значение которой интерпретируется как степень нахождения (принадлежности) пары (x, y) в данном отношении.

Функция $\mu_R : X \times Y \rightarrow [0,1]$ определяет нечеткое отношение R на множествах X и Y , каждое значение которой $\mu_R(x, y)$ рассматривается как степень принадлежности пары (x, y) в данном отношении.

Правило композиции отношений $S \circ R$ определяет построение нечетких систем [1]:

$$\mu_{S \circ R}(x, z) = \max_{y \in Y} \{ \min[\mu_R(x, y), \mu_S(y, z)] \}, \quad (1)$$

где R – отношение на множествах X, Y ; S – отношение на множествах Y, Z ;

Используя правило композиции отношений, получим модель состояний ОК отдельно для случая независимости функционирования компонентов ОК и при их взаимной зависимости. Модели состояний ОК в этих случаях будем называть, соответственно, четкой и нечеткой.

3. Примеры оценки состояний объекта контроля на основе нечеткой логики

В качестве примера рассмотрим типовую функцию ВС приема голосового сообщения по каналу УКВ связи. В упрощенном виде указанную функцию можно представить в виде следующей линейки из четырех компонентов (см. Рисунок 3).

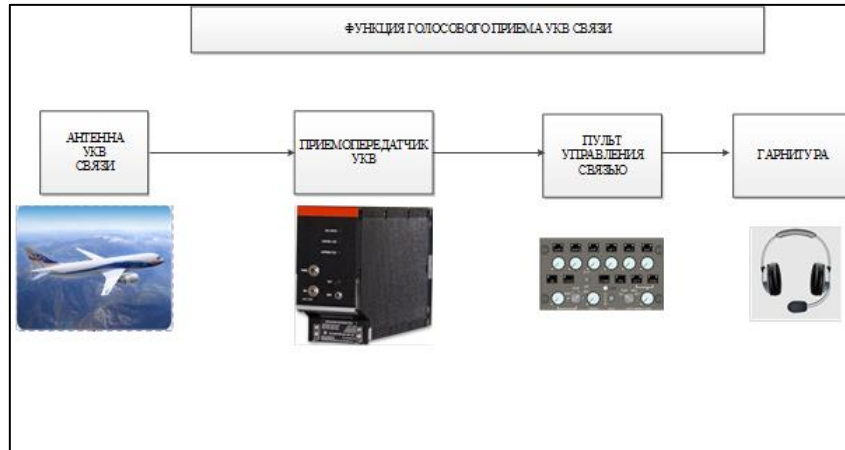


Рисунок 3 – Функция приема голосового сообщения по каналу УКВ связи

Введем следующие обозначения компонентов ОК:

- антенна УКВ связи – M_1 ;
- приемопередатчик УКВ связи – M_2 ;
- пульт управления связью – M_3 ;
- гарнитура – M_4 .

Для представленного случая БСТО формирует набор оцениваемых входных параметров U , которые позволяют выполнить инструментальную диагностику состояния ОК.

В результате инструментальной диагностики возможно получение следующих априорных результатов: M_1^- - отказ модуля M_1 ; M_2^- - отказ модуля M_2 ; M_3^- - отказ модуля M_3 , M_4^- - отказ модуля M_4 . Для независимых модулей ОК этот результат совпадает с апостериорными оценками выходных параметров ОК $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$.

На основании вектора оценок Y принимается решение о состоянии указанных модулей: M_1^+ - отказ модуля M_1 ; M_2^+ - отказ модуля M_2 ; M_3^+ - отказ модуля M_3 ; M_4^+ - отказ модуля M_4 . Если модули ОК функционируют независимо, то взаимосвязь результатов их инструментальной диагностики и оценкой состояния ОК представляется «четкой» моделью в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 - «Четкая» модель состояний независимых модулей ОК

U	Y			
	M_1^+	M_2^+	M_3^+	M_4^+
M_1^-	1	0	0	0
M_2^-	0	1	0	0
M_3^-	0	0	1	0
M_4^-	0	0	0	1

Представленную таблицу можно интерпретировать в виде следующего набора правил:

$$(U=M_1^-) \rightarrow (Y=M_1^+); (U=M_2^-) \rightarrow (Y=M_2^+);$$

$$(U=M_3^-) \rightarrow (Y=M_3^+); (U=M_4^-) \rightarrow (Y=M_4^+).$$

Если компоненты ОК взаимосвязаны, то более информативной будет нечеткая модель состояний, в которой отношение между результатами инструментальной диагностики и оценкой состояния ОК задается таблицей значений функции принадлежности R_0 . Такая функция может быть сформирована априорно на основе практического опыта или по результатам испытаний. В качестве примера можно привести функцию принадлежности, заданную таблицей 2, которую можно интерпретировать следующим образом.

Таблица 2 – Значения функции принадлежности R_0 на основе инструментальной диагностики

U	Y			
	M_1^+	M_2^+	M_3^+	M_4^+
M_1^-	0.8	0.4	0.3	0.1
M_2^-	0.4	0.8	0.2	0.5
M_3^-	0.3	0.2	0.8	0.6
M_4^-	0.1	0.5	0.6	0.8

Содержание значений функции принадлежности R_0 может быть также интерпретировано с помощью продукционных правил, используемых при построении экспертных систем:

$$(U=M_1^-) \rightarrow (Y=M_1^+ | 0.8 \text{ или } Y=M_2^+ | 0.4 \text{ или } Y=M_3^+ | 0.3 \text{ или } Y=M_4^+ | 0.1);$$

$$(U=M_2^-) \rightarrow (Y=M_1^+ | 0.4 \text{ или } Y=M_2^+ | 0.8 \text{ или } Y=M_3^+ | 0.2 \text{ или } Y=M_4^+ | 0.5);$$

$$(U=M_3^-) \rightarrow (Y=M_1^+ | 0.3 \text{ или } Y=M_2^+ | 0.2 \text{ или } Y=M_3^+ | 0.8 \text{ или } Y=M_4^+ | 0.6);$$

$$(U=M_4^-) \rightarrow (Y=M_1^+ | 0.1 \text{ или } Y=M_2^+ | 0.5 \text{ или } Y=M_3^+ | 0.6 \text{ или } Y=M_4^+ | 0.8).$$

Например, отказ модуля M_1 может быть связан с отказом самого модуля M_1 с коэффициентом доверия 0.8, с отказом модуля M_2 с коэффициентом 0.4, с отказом модуля M_3 с коэффициентом 0.3 или с отказом модуля M_4 с коэффициентом 0.1.

Практическое применение модели оценки состояний связанных модулей по результатам объективного контроля ОК и знаний экспертов сводится к следующему. Предположим, что локализовано неработоспособное состояние ОК ω_0^- . Такое состояние по мнению специалистов-экспертов связано с отказами его модулей отношением W_0 с входом U и нечетким множеством выходов Y , представленным в Таблице 3.

Таблица 3 – Значения функции принадлежности W_0 на основе экспертной оценки

U	Y			
	M_1^+	M_2^+	M_3^+	M_4^+
ω_0^-	0.1	0.1	0.1	0.7

С учетом значений функций принадлежности R_0 и W_0 состояние ОК определяется с помощью отношения W_1 по формуле композиции:

$$W_1 = R_0 \circ W_0,$$

или

$$\mu_1(M_1^-) = \max\{\min\{0.1, 0.8\}, \min\{0.1, 0.4\}, \min\{0.1, 0.3\}, \min\{0.7, 0.1\}\}$$

$$= \max\{0.1, 0.1, 0.1, 0.1\} = 0.1;$$

$$\mu_1(M_2^-) = \max\{\min\{0.1, 0.4\}, \min\{0.1, 0.8\}, \min\{0.1, 0.2\}, \min\{0.7, 0.5\}\}$$

$$= \max\{0.1, 0.1, 0.1, 0.5\} = 0.5;$$

$$\mu_1(M_3^-) = \max\{\min\{0.1, 0.3\}, \min\{0.1, 0.2\}, \min\{0.1, 0.8\}, \min\{0.7, 0.6\}\}$$

$$= \max\{0.1, 0.1, 0.1, 0.6\} = 0.6;$$

$$\mu_1(M_4^-) = \max\{\min\{0.1, 0.1\}, \min\{0.1, 0.5\}, \min\{0.1, 0.6\}, \min\{0.7, 0.8\}\}$$

$$= \max\{0.1, 0.1, 0.1, 0.7\} = 0.7.$$

В итоге для выбранного ОК модель оценки состояний, которая учитывает результаты БСТО и экспертные данные, примет вид, представленный на рисунке 7.

Таблица 4 – Итоговая модель оценки состояний модулей ОК

U	Y			
	M_1^+	M_2^+	M_3^+	M_4^+
ω^-	0.1	0.5	0.6	0.7

Как следует из данного примера, совместная объективная и субъективная оценка состояния ОК повышает информационную достоверность контроля.

Заключение

Рассмотрено применение математического аппарата нечеткой логики в задачах эксплуатационного контроля и технического обслуживания ВС, основанного на комбинированном применении БСТО и экспертной оценки.

Использование предложенного метода позволяет:

- ускорить диагностику отказного состояния ОК и тем самым ускорить подготовку ВС к летной эксплуатации;
- компенсировать ошибки БСТО при диагностировании ОК, опираясь на опыт эксплуатации ВС специалистов – экспертов;
- развивать методы технической эксплуатации с учетом совершенствования средств диагностирования ОК в составе БСТО и роста квалификации экспертов при эксплуатации ВС.
- снижение затрат на эксплуатацию ВС при послепродажном обслуживании.

Литература

1. Чернодаров А.В. Контроль, диагностика и идентификация авиационных приборов и измерительно-вычислительных комплексов. М.: Научтехлитиздат, 2017, 300 с.
2. Алымов В.Н., Артемов А.Д., Коробков Ю.Н. Двухэтапный алгоритм обучения специалистов по техническому обслуживанию при переходе на новый тип воздушного судна // 2-я Международная конференция «Скоростной транспорт будущего: перспективы, проблемы, решения» (HSTD 2023)), республика Крым, Алушта, 29 августа-03 сентября 2023.
3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976, 165 с.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И ПОИСКА В НИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

Потопнина К.А., Проскураков А.Ю.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Аннотация. В статье рассматривается использование методов машинного обучения при проектировании экономических циклов и ставится цель изучить различные подходы с этой целью. Исследование основано на интеграции различных методов регрессии и, следовательно, на методологическом подходе. Анализ продемонстрировал как преимущества, так и недостатки методов машинного обучения. Изучая макроэкономические показатели, методы машинного обучения можно использовать для прогнозирования будущего состояния экономики, о чем свидетельствует анализ текущего состояния экономики и рассмотрение доступной статистики.

Ключевые слова: экономическое прогнозирование, машинное обучение, экономические циклы, искусственный интеллект, анализ данных.

An overview of modern solutions to the problem of forecasting time series and finding patterns in them. K.A. Potopnina, A.Y. Proskuryakov. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «MIREA – Russian Technological University»

Annotation. The article delves into the application of machine learning techniques in shaping economic cycles and seeks to investigate diverse methodologies for this objective. The research relies on the amalgamation of different regression techniques and, consequently, on a methodical approach. The exploration revealed both the strengths and drawbacks of employing machine learning methods. Through the examination of macroeconomic indicators, machine learning methods can forecast the future trajectory of the economy, as indicated by an analysis of its present condition and a review of accessible statistics.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, economic cycles, data analysis, economic forecasting

В современных странах экономические циклы (циклические закономерности) - когда экономическая деятельность происходит постепенно и с периодическими изменениями источников текущей экономической деятельности - являются важнейшей составляющей развития национальных экономик. Роль деловых циклов в современной экономике имеет первостепенное значение, поскольку они для обеспечения экономической стабильности и роста имеют решающее значение. Предприятия могут лучше контролировать политику продаж и маркетинга, поскольку они имеют представление о будущем состоянии экономики, в то время как государственные учреждения на определенном этапе ЖЦ приспособливают меры политики макроэкономики к потребностям системы экономики [2, 3].

Алгоритмы машинного обучения показали впечатляющие результаты при анализе широкого спектра сложных данных, особенно при прогнозировании будущей производительности системы. Эконометрические модели, такие как линейная регрессия и множественный анализ, всё чаще уступают своё место более продвинутым машинам обучения [3].

В этой статье анализируются основные алгоритмы машинного обучения, их использование в анализе экономических данных, а также сравнивается эффективность этих методов с традиционными подходами в эконометрике.

Машинное обучение можно разделить на 2 основные группы: регрессия и классификация. Эти категории являются основным направлением в этой области. Методы классификации предназначены для группировки данных на основе определенных свойств или зависимостей. С другой стороны, регрессионные методы имеют тенденцию предсказывать следующий элемент или этап в определенном порядке. В обоих случаях для прогнозирования используется единый подход. Модель обучается на заранее выбранном наборе данных, после чего она использует полученные знания, чтобы делать прогнозы на основе новых входных данных.

Экономическое развитие неразрывно связано с множеством макроэкономических показателей, таких как ВВП, занятость населения и уровень инфляции [2]. В одной из исследований, рассмотренных в данной статье [4], акцент сделан на ВВП, который выступает в качестве ключевого элемента для его вычисления.

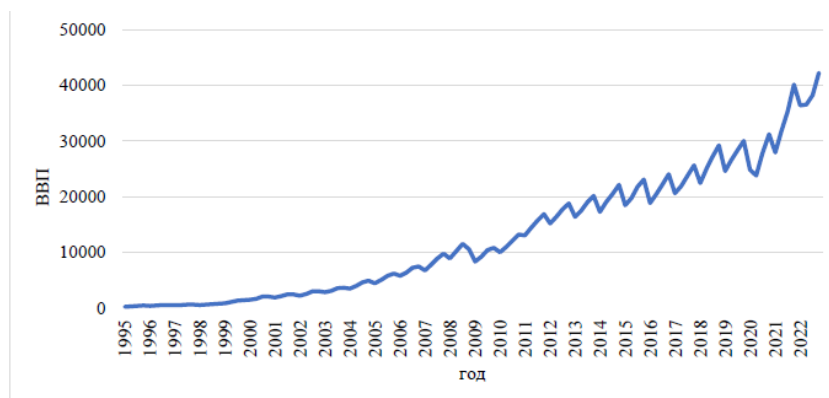


Рисунок 1 – Ежегодный показатель ВВП в России

Чтобы разобраться в методах регрессии, необходимо осознать, что линейная регрессия является одним из основных подходов. Целью данной модели является создание линейной зависимости, которая наиболее точно отражает реальный уровень валового внутреннего продукта (ВВП). Ключевым моментом в этом процессе является определение величины ошибки прогноза. Во время обучения алгоритм настраивается для того, чтобы выявить функцию, обладающую наименьшей подверженностью к ошибкам. Это, в свою очередь, способствует снижению числа неверных прогнозов. Представленная функция иллюстрирует линейный тренд, который передает суть анализируемых данных.

Уравнение (1), представленное ниже, является достаточно сложной задачей, так как это линейная функция, которая достигает 92,5% соответствия с реальным ВВП по коэффициенту детерминации.

$$f(x) = \sum_{j=0}^k \beta_j x_j + \varepsilon \quad (1)$$

где ε - случайная ошибка, $j = \overline{0, k}$, β - коэффициент регрессии.

Для определения коэффициента детерминации применяется метод наименьших квадратов (далее – МНК), что помогает установить взаимосвязь между предсказанными значениями x и реальными значениями y . Этот метод позволяет оценить качество соответствия модели и данных, что, в свою очередь, способствует оптимизации прогнозов. Суть метода заключается в минимизации суммы квадратов разностей между наблюдаемыми и вычисленными значениями, что помогает выявить более точную зависимость между переменными. Таким образом, МНК является важным инструментом в статистике для анализа данных и прогнозирования.

$$\sum_i (y_i - f(x_i))^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

Полученный с использованием метода линейной регрессии результат применения линейной функции, представляет собой важный аспект в анализе данных (рис. 2). Данный метод позволяет выявить зависимость между переменными и произвести прогнозирование на основе имеющихся значений. В ходе выполнения расчетов формируется модель, которая демонстрирует взаимосвязь между независимыми и зависимыми переменными при помощи линейной зависимости. Данный подход не только позволяет разобраться в том, как изменения в одной переменной могут затрагивать другую, но и предоставляет возможность для прогнозирования будущих значений. Используя линейную регрессию, можно установить параметры, демонстрирующие как интенсивность, так и направление связи между переменными. Это позволяет глубоко осознать исследуемое явление.

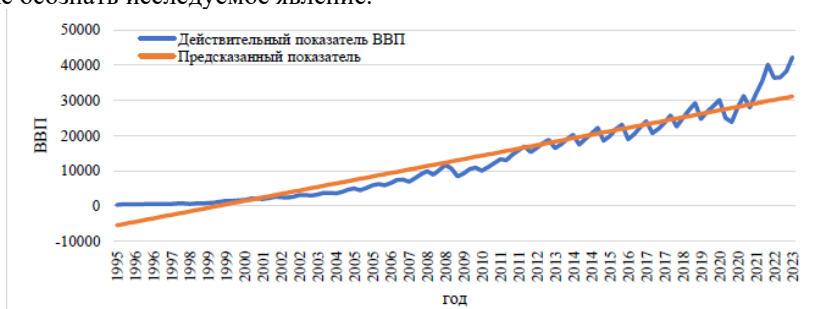


Рисунок 2 – Результат вычисления с помощью линейной регрессии

Линейная функция, используемая в расчете линейного показателя ВВП, не в полной мере передает все изменения, происходящие с реальным ВВП. Вместо этого для более точного описания фактических значений ВВП применяется полиномиальная модель. Принципы, на которых основывается полиномиальная регрессия, совпадают с линейной регрессией, но её результаты оказываются гораздо более точными. Коэффициент детерминации, получаемый в полиномиальной регрессии, составляет 97,7%, что на 6,8% выше, чем в линейной модели. Этот результат обеспечивает наилучшее понимание функции ВВП. Уравнение, изображающее полиномиальную регрессию, будет представлено в виде (3).

$$f(x) = \sum_{j=0}^k b_j x^j + \varepsilon \quad (3)$$

где $j = \overline{0, k}$, β - случайная ошибка, b_j - параметры полинома.

Коэффициент детерминации полиномиальной регрессии, которая основана на МНК, рассчитывается следующим образом, чтобы x (прогнозируемый ответ) удовлетворял y (фактический ответ) в максимально достижимой степени, гарантируя, что x (прогнозируемый ответ) и y (фактический ответ) согласуются друг с другом, как только обнаруживается корреляция для молярного квадрата x . На рис. 3 метод полиномиальной регрессии вычисляет полином, в результате чего получается результат.

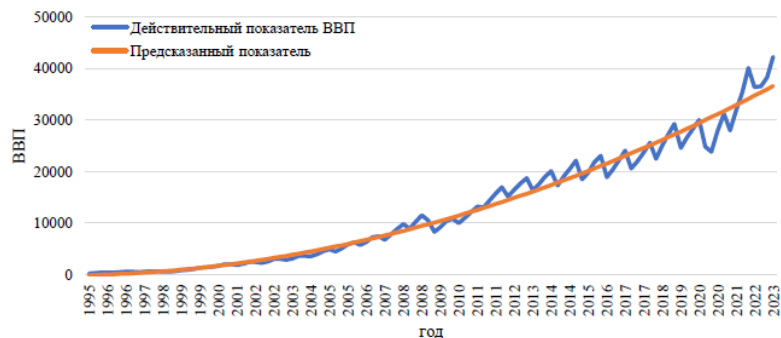


Рисунок 3 – Результат вычисления с помощью полиномиальной регрессии

Хотя модель полиномиальной регрессии хорошо адаптирована для описания графического графа, ее прогнозирующая способность очень низка. Чтобы увидеть это, можно сделать прогнозы, предсказывая элементы графа. Данное утверждение иллюстрирует график изображенный на рис. 4.

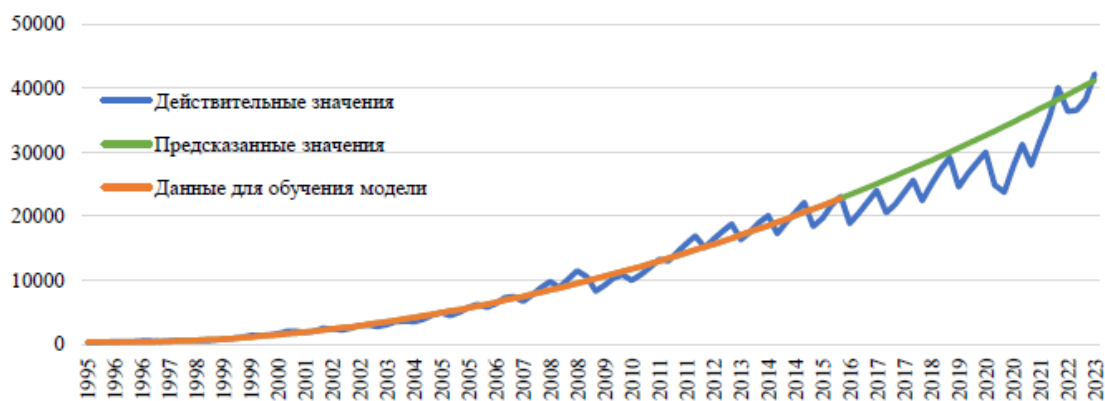


Рисунок 4 – Результат прогнозирования ВВП с помощью полиномиальной регрессии

Прогнозирующую силу полиномиальной модели можно использовать для определения коэффициента детерминации прогнозируемой области, который при использовании полинома составляет 0,819%.

Далее приступаем к прогнозированию с помощью линейно-клеточного автомата. Делим график на термы (значения от низшего к высшему), выделяем 4 термы (от А до Г, где А - низшие значения, а Г – высшие). Термы Б и В (промежуточные значения). Этот метод использует фактор очевидного выбора. После выделения наивысших значений устанавливаем границы, соединяющие в одну цепь значения максимума и минимума, а в термы преобразуются все значения ряда.

Следующий этап - верификация. График, который затем преобразуется в ряд термов, потом ищутся в нем закономерности. Далее предпринимаются усилия по переходу между двумя термами, чтобы изменения в этих термах были перенесены на что-то другое и учитываются отдельно.

После этого начинается этап проверки, а этап проверки начинается с проверки прогноза. Когда в качестве возможной длины выбирается максимально возможная длина последовательности, вероятность перехода каждой последовательности терминов во все потенциальные переходы терминов вычисляется как общая вероятность любого перехода.

Последний этап – это предсказание. Это верификация, но только уже несуществующих значений.

Метод линейного клеточного автомата представляет собой эффективный инструмент для анализа общих тенденций в экономическом развитии, поскольку он способен выявлять закономерности в различных секторах. Однако применение этого метода для определения точных величин изменений в экономике, таких как рост или спад, оказывается нецелесообразным. Увеличение числа элементов и степень детализации расчетов, как правило, приводят к ухудшению точности предсказаний.

Оба подхода — линейный клеточный автомат и полиномиальная регрессия — обладают своими сильными и слабыми сторонами. Линейная регрессия предоставляет точные прогнозы о повышении и понижении в экономических циклах, однако не позволяет получить детализированные данные об изменениях этих циклов. В то же время, полиномиальная регрессия не способна эффективно предсказывать колебания вверх и вниз, но демонстрирует высокую точность в анализе тенденций

экономических показателей. В отдельности каждый из методов может эффективно и адекватно оценивать будущие изменения в экономической сфере.

Литература

1. Веселов Д.И. Основные проблемы промышленных предприятий в условиях цифровизации // Прогрессивная экономика. 2024. № 3. С. 5-13.
2. Садакова Е.Н., Куклин А.В. Причины экономических циклов и их государственное регулирование в России // Вектор экономики. 2023. № 3 (81). С. 1-12.
3. Проскуряков А.Ю. Математические методы и информационные технологии управления торговыми операциями с цифровыми валютами // Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук, 2023
4. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru>
5. Арашов М. Машинное обучение в экономике - как оно используется? // Eo ipso. 2022. № 11. С. 46-48.
6. Гирфанов А.И., Папаев Р.М., Загидуллин Л.Р. Использование машинного обучения для исследования форм поведения животных / Международный форум Kazan Digital Week-2022: Сборник материалов Международного форума. Казань. 21-24 сентября. 2022. Казань: Научный центр безопасности жизнедеятельности. 2022. С. 751-755.
7. Давыдов, А. Н. использование машинного обучения в экономике // Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в ВУЗе и школе. 2022. № 38. С. 845-848.
8. Маслакова П.И., Осенний В.В., Бурда А.Г. Направления использования машинного обучения и искусственного интеллекта в экономике и перспективы их развития // Цифровизация экономики: направления, методы, инструменты: Сборник материалов II всероссийской научно-практической конференции. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. С. 51-54.
9. Мирончук В.А., Иванцов К.А., Гордеев Е.С. Прогнозирование экономических циклов с использованием машинного обучения // Международный научно-исследовательский журнал «Прогрессивная экономика» № 5 / 2024 https://progressive-economy.ru/vypusk_1/prognozirovanie-ekonomicheskikh-cziklov-s-ispolzovaniem-mashinnogo-obucheniya/ Научная статья / Original article
10. Нумонова Н.Р. Обзор литературы: применения основных подходов и методов машинного обучения в сфере экономики / Цифровизация как драйвер развития науки и образования: Сборник статей III Международной научно-практической конференции. Петрозаводск. 15 июня. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука». 2021. С. 31-36.
11. Поленок М.В., Бондаренко С.В., Козлова И.Р., Юркова О.Н. О методах машинного обучения при принятии управленческих решений в области здравоохранения / Вызовы цифровой экономики: тренды развития в условиях последствий пандемии COVID-19: Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к Году науки и технологий в России. Брянск: Брянский государственный инженернотехнологический университет. 2021. С. 225-229.

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВЕБ-ДОСТУПНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ НАРУШЕНИЙ ЗДОРОВЬЯ

Романенкова Д.Ф.

Южно-Уральский государственный университет
+7 (912) 898-66-57, romanenkovadf@susu.ru

Статья посвящена вопросам оценки доступности образовательного контента, обеспечение которой имеет большое значение для людей с особыми образовательными потребностями. Сформулированы основные шаги, которые являются общими для процессов комплексной оценки степени соответствия ресурса требованиям WCAG, охарактеризованы различные методы и способы для проверки веб-доступности, такие как автоматизированная проверка доступности с помощью программных средств, проверка экспертом, проверка пользователями с различными видами нарушениями здоровья. Сформулированы основные критерии и показатели проверки доступности образовательного контента, которая может быть проведена автором курса.

Ключевые слова: веб-доступность, инструменты оценки доступности, лица с инвалидностью, инклюзивное образование.

Accessibility of digital educational content for people with various types of health disorders.
Romanenkova D.F. South Ural State University.

The article is devoted to the issues of evaluation the accessibility of educational content, the provision of which is of great importance for people with special educational needs. The main steps that are common to the processes of comprehensive assessment of the degree of resource compliance with WCAG requirements are formulated, various methods and ways for checking web accessibility are characterized, such as automated accessibility checking using software, expert checking, checking by a user with various types of disabilities. The main criteria and indicators for checking the accessibility of educational content, which can be carried out by the author of the course, are formulated.

Keywords: web accessibility, accessibility evaluation tools, people with disabilities, inclusive education.

Вопросы доступности образовательного контента, размещенного в сети Интернет, являются актуальными для всех стран. В нашей стране создана определенная законодательная база: на основе международного стандарта веб-доступности разработан и введен в действие национальный стандарт Российской Федерации, закрепивший требования доступности электронной информации для людей с инвалидностью и других лиц с ограничениями жизнедеятельности, нормативно закреплено требование об обязательном наличии версии для слабовидящих официальных сайтов государственных органов и организаций. Федеральные государственные образовательные стандарты высшего и среднего профессионального образования предусматривают предоставление обучающимся с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья образовательных ресурсов в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья, а дистанционные образовательные технологии должны предусматривать возможность приема-передачи информации в доступных формах. Все это предполагает использование принципов универсального дизайна при проектировании содержания образования или использование ассистивных технологий [6]. Однако все эти требования фактически не выполняются на практике, причем не только в России, но и в других странах мира [1]. Многие просто не осознают барьеров, с которыми сталкиваются пользователи с различными ограничениями. В нашей стране крайне мало исследований, посвященных вопросам доступности веб-контента. Следует отметить работы Е.А. Косовой, которая провела исследование доступности электронных образовательных ресурсов на платформе Moodle, а также предложила алгоритм аудита цифровой доступности электронного обучения в Российской Федерации [4, 5].

Веб-доступность образовательных ресурсов является одним из важнейших условий эффективности инклюзивного профессионального образования. Ее обеспечение необходимо не только обучающимся с особыми образовательными потребностями, обусловленными ослабленным зрением, отсутствием зрения, нарушенным цветовосприятием, нарушенным слухом, затруднениями в работе на компьютере вследствие нарушений двигательных возможностей, медленной реакцией, различными особенностями психического состояния и пр., но и значительной части обучающихся, у которых могут быть ситуационные или технологические ограничения.

Под образовательными ресурсами мы понимаем широкий спектр ресурсов, необходимых для освоения содержания образовательной программы, представленных преимущественно в электронно-цифровой форме, к которым обеспечен свободный или авторизованный доступ в сети Интернет через цифровые устройства (компьютеры, планшеты, смартфоны). Как правило, образовательные ресурсы представлены в электронных библиотечных системах, вузовских системах дистанционного обучения, массовых открытых онлайн курсах и др.

Рассмотрим подробнее доступность образовательных ресурсов, размещенных в вузовских системах дистанционного обучения. При этом доступность для пользователя складывается из доступности сайта с системой дистанционного обучения (удобство и понятность навигации, наличие мобильной версии, шаблон оформления сайта и т.п.) и доступности конкретного образовательного курса, размещаемого авторами курсов. Значительная доля вузов (порядка 70 %) используют СДО Moodle, которая обеспечивает необходимые требования, включая и наличие блока «Специальные возможности», предназначенного для настройки страницы под особенности обучающегося (размер и начертание шрифта, контрастность, расстояние между знаками и строками, озвучивание текста и пр.). Что же касается наполнения курсов, то обычно это ответственность преподавателя. Иногда в качестве учебных материалов предлагаются фотокопии учебников, графический материал с низким разрешением и пр. Но даже если материал представлен в электронно-цифровой форме, это не означает, что он будет с равной эффективностью воспринят людьми без ограничений и людьми с различными видами нарушений здоровья. Соответственно, должны быть процедуры и алгоритмы, которые позволяют провести оценку как отдельной страницы, так и всего курса в целом на предмет их веб-доступности.

Часто нарушения доступности связаны с недостаточными знаниями преподавателей требований. Оценка веб-доступности должна производиться на всех этапах создания курса электронного обучения, начиная с проектирования, чтобы вовремя выявлять проблемы и легче справляться с их решением. Для этого не нужно иметь навыки программирования, даже такие простые действия, как изменение настроек браузера, могут помочь автору курса оценить различные аспекты веб-доступности.

Под оценкой веб-доступности мы понимаем оценку образовательного ресурса на соответствие требованиям доступности, которые описаны в разных стандартах и руководствах. Эта процедура оценивает пригодность контента для максимально большого числа пользователей, в том числе для людей с различными нарушениями здоровья.

В мире основным разработчиком веб-стандартов доступности является международная некоммерческая организация The World Wide Web Consortium (W3C), один из основных документов – руководство по обеспечению доступности веб-контента (WCAG), на основе версии 2.1 которого разработан национальный стандарт Российской Федерации [3]. Эта же организация разработала Методологию оценки соответствия доступности веб-сайта (Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology (WCAG-EM)). Она содержит рекомендации об оценке доступности на соответствие критериям успешности WCAG. Несмотря на название, подходит не только для сайтов, но и для любого цифрового продукта.

Выделяют три уровня соответствия требованиям доступности: А – базовое соответствие, обязательный или минимальный уровень, в стандарте РФ он называется приемлемый уровень, AA – промежуточное соответствие, рекомендуемый или средний уровень, в стандарте РФ он называется высокий уровень, AAA – расширенное соответствие, желательный или верхний уровень, в стандарте РФ – наивысший уровень.

Данная методология включает пять основных шагов, которые являются общими для процессов комплексной оценки степени соответствия ресурса требованиям WCAG [2]. Сформулируем ее для образовательных веб-ресурсов:

1. Определение области оценки: масштаб оценки (сайт целиком, отдельный курс, отдельные страницы); целевой уровень соответствия («А», «АА» или «ААА»);

2. Изучение веб-сайта: анализ образовательного веб-сайта, знакомство с его структурой, содержанием, целями и функциональными возможностями; определение типов веб-страниц и технологий, используемых для реализации сайта и его приложений.

3. Репрезентативная выборка страниц веб-сайта (для сайтов, где невозможно оценить весь контент): важно обеспечить, чтобы результаты оценки достоверно отражали доступность.

4. Проведение проверки: осуществляется проверка всех выбранных страниц на соответствие всем критериям успешности для выбранной версии WCAG и уровня соответствия.

5. Предоставление отчета о результатах оценки: документирование результатов каждого из предыдущих шагов имеет большое значение для обеспечения прозрачности процесса оценки, воспроизводимости результатов оценки и обоснования любых заявлений, сделанных на основе этой оценки. Эта документация не обязательно должна быть публичной. В России зарегистрированы организации, осуществляющие по запросу оценку доступности веб-сайтов и мобильных приложений для людей с инвалидностью с выдачей сертификата, однако результаты их проверки не всегда соответствуют критериями успешности WCAG.

В настоящее время существуют различные методы и способы для проверки веб-доступности:

– автоматизированная проверка доступности с помощью программных средств;

– проверка экспертом;

– проверка пользователями с различными видами нарушениями здоровья.

Есть платные и бесплатные онлайн-сервисы для автоматизированной проверки. Среди бесплатных можно выделить:

Web Accessibility Evaluation Tools (WAVE) – это набор инструментов оценки, который помогает авторам сделать свой веб-контент более доступным для людей с разными видами нарушений здоровья. Он может определить множество ошибок доступности и правил доступности веб-контента (WCAG), а также облегчает оценку веб-контента экспертом. Имеются расширения, которые позволяют оценивать веб-контент на предмет проблем доступности непосредственно в браузерах.

W3C Markup Validation Service – данный валидатор может обрабатывать документы, написанные на большинстве языков разметки. Поддерживаемые типы документов включают семейства HTML и XHTML, MathML, SMIL и SVG, включая мобильные профили.

Accessible Web Helper – расширение для браузера Google Chrome, которое сканирует любую страницу и выдает найденные ошибки доступности, разделив их на критические, серьезные, средние и незначительные.

axe DevTools – проверка доступности для разработчиков, тестировщиков и дизайнеров в браузере Google Chrome с помощью автоматизации и тестов на базе искусственного интеллекта, которая автоматически выявляет большинство распространенных проблем с доступностью, предотвращает ложные положительные результаты.

accessScan – использует искусственный интеллект для имитации пользовательского тестирования и сканирования веб-сайта на наличие ошибок доступности, проверяет на соблюдение требований WCAG

2.1 уровня AA, помимо подробного ответа формирует итоговое заключение «доступно», «не соответствует» или «частично соответствует».

TAW – это автоматический онлайн-инструмент для анализа доступности веб-сайтов, созданный на основе технических рекомендаций WCAG 2.1, с задаваемым уровнем соответствия. Проверки TAW делятся на две категории: проблемы доступности, которые сервис обнаруживает автоматически и которые необходимо устранить, и предупреждения, которые обозначаются как наличие возможной проблемы, которую оценщик должен подтвердить или отклонить.

Экспертная оценка предполагает детальное обследование каждого сайта (всех веб-страниц и встроенных элементов) подготовленными специалистами с применением специальных технических средств и ассистивных технологий. Чтобы оценить объективно доступность того или иного ресурса, пользователь должен иметь четкое знание того, какие есть барьеры доступности, как оценивать веб-контент с использованием стандарта обеспечения доступности, ассистивных технологий и понимание, как люди с различными нарушениями используют Интернет. Это включает в себя знание веб-технологий, барьеров доступности, с которыми сталкиваются люди с нарушениями; вспомогательных технологий и адаптивных подходов, которые используют люди с различными особенностями здоровья; а также методов оценки, инструментов и методов выявления барьеров для таких людей.

Автоматизированная проверка и проверка экспертом могут пропустить некоторые важные, но неочевидные проблемы: они могут быть связаны с неправильной разметкой, плохой эргономичностью или особенностями взаимодействия с ассистивными технологиями. Поэтому в рамках комплексной оценки ещё желательно проводить оценочные пользовательские исследования, например, студентами с нарушениями зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата, причем это не обязательно должны быть люди с «официальной» инвалидностью.

При этом WCAG не описывает все барьеры, с которыми сталкиваются люди. На практике может получиться так, что веб-контент удовлетворяет всем критериям WCAG, но в связи со спецификой его работы (или спецификой работы ассистивных технологий) он может в итоге оказаться недоступен людям с тем или иным ограничением. Поэтому другими источниками критериев могут быть лучшие практики, публичные результаты пользовательских исследований и знания экспертов. Следует отметить, что ни один из методов оценки по отдельности не может определить соответствие ресурса требованиям доступности веб-контента. В идеале, лучше использовать комбинацию этих трех методов оценки веб-доступности, а не только один из них.

Считаем важным обозначить критерии проверки электронных образовательных ресурсов, которыми сможет воспользоваться любой автор контента. Эти проверки охватывают лишь несколько проблем доступности, однако их использование не требует глубокого знания программных средств и средств разработки.

Сформулируем основные критерии и показатели проверки доступности образовательного контента, которая может быть проведена автором курса, для целевого уровня соответствия «А» – приемлемый (табл. 1).

Таблица 1 – Чек-лист проверки доступности образовательного контента

Критерий	Показатель
Альтернативный текст изображения	Альтернативный текст изображения – это краткое описание, передающее назначение изображения. Изображения с информацией, относящейся к содержанию страницы, имеют альтернативный текст, описывающий эту информацию; изображения с текстом имеют текст в альтернативном тексте; функциональные изображения (ссылка или кнопка) имеют альтернативный текст, описывающий целевую страницу или функцию кнопки; сложные изображения (графики и диаграммы) имеют краткий альтернативный текст, описывающий тип изображения, и краткое изложение ключевой идеи.
Заголовок страницы	Заголовок страницы – это первая информация, которую читают программы экранного доступа при открытии страницы. Заголовок адекватно и кратко описывает содержание страницы; заголовок страницы отличается от других страниц на сайте.
Заголовки на странице	Заголовки передают организацию контента на странице, по сути, это оглавление. Текст на странице разделен на смысловые части с помощью заголовков; первый заголовок начинается с H1; нет пропусков какие-либо уровней заголовков; нет пустых заголовков без текста; нет текста, который выглядит как заголовок, но не размечен как заголовок; текст заголовка отражает

	последующее содержание; заголовки отражают структуру контента, особенно вложенного контента.
Цветовой контраст	Цветовой контраст – это относительная яркость двух или более цветов по отношению друг к другу. Коэффициент контрастности должен быть не менее 4,5:1. Обеспечен необходимый контраст цвета текста и цвета фона; обеспечен контраст интерактивных элементов (индикаторы фокуса и их фон); обеспечен контраст элементов графика, диаграммы или карты.
Видимый фокус клавиатуры	Видимый фокус клавиатуры указывает на то, к какому интерактивному элементу: ссылке, кнопке, полю формы и пр. пользователь может перейти с помощью клавиши Tab. Видимый фокус клавиатуры может представлять собой рамку или выделение, перемещающееся по мере перемещения по веб-странице. Все интерактивные элементы имеют очевидный визуальный стиль.
Язык страницы	Язык страницы необходимо указать, чтобы программы экранного доступа и другие технологии, преобразующие текст в речь, знали, как правильно произносить текст. Основной язык страницы определяется правильно.
Масштабирование	Масштабирование используется для увеличения текста и изображений на веб-страницах, чтобы сделать их более читаемыми. Размер текста можно изменять без использования ассистивных технологий до 200 % без потери содержания или функциональности (за исключением подписей и изображений текста). При этом весь текст по-прежнему читаем; текст не скрыт за другим текстом или изображениями; горизонтальная прокрутка не требуется для просмотра всего контента.
Субтитры	Субтитры – это текстовая версия речи и других звуков, необходимых для понимания контента, они отображаются в медиаплеере и синхронизируются со звуком. Использование автоматических субтитров без их дополнительного редактирования не желательно. В субтитрах правильная пунктуация и использованы заглавные буквы, там, где это необходимо; субтитры синхронизированы с речевым содержанием; если говорят несколько человек, говорящий идентифицируется во время речи; включены неречевые важные звуки, значимые для понимания содержания.
Тифлокомментарии	Тифлокомментарий – это речевое описание визуальной информации, составленное с учетом психологических особенностей и потребностей людей с нарушением зрения. Тифлокомментарий к видео предоставляет информацию о происходящем действии, персонажах, изменениях ракурсов, тексте на экране и другом визуальном содержимом. Предоставлено синхронизированное аудиоописание либо полная текстовая альтернатива визуального содержания видеороликов.
Названия полей в формах ввода	Метки полей формы – это текст рядом или над полями формы, они сообщают пользователю, какую информацию вводить или какой флажок или радиокнопку выбирать. Все элементы формы имеют программно связанную метку; поля, отмеченные как обязательные для заполнения, имеют видимый индикатор того, что они обязательны.

Для каждого показателя в таблице автор курса проставляет следующие значения: 2 – показатель выполнен, 1 – показатель выполнен частично, 0 – показатель не выполнен. Если элемент, соответствующий критерию, не представлен на странице, то значение показателя не заполняется.

Веб-страница может, казалось бы, пройти эти проверки, но все равно иметь значительные барьеры доступности. Для всесторонней оценки доступности требуется комплексная оценка.

Авторы курсов для обеспечения доступности могут использовать различные сервисы: текстовые редакторы и веб-сервисы с проверкой орфографии, грамматики и сложности предложений, программы для создания субтитров, программы для проверки всплывающих и миганий в видео и анимации, плагины для проверки уровня контраста, имитация цветовой слепоты и пр.

Таким образом, оценка веб-доступности образовательных ресурсов для людей с различными видами нарушений здоровья должна проводиться комплексно на всех этапах разработки контента и

средств управления контентом. Как правило, наибольшее количество проблем доступности связано с содержанием курсов, поэтому считаем важным формирование у преподавателей компетенций, необходимых для оценки и выявления проблем доступности, а также навыков разработки образовательного контента, отвечающего международным и национальным стандартам и требованиям универсального дизайна.

Литература

1. Campoverde-Molina M., Luján-Mora S. and García L. V. "Empirical Studies on Web Accessibility of Educational Websites: A Systematic Literature Review," in IEEE Access, vol. 8, pp. 91676-91700, 2020 – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9092982> (дата обращения: 23.08.2024).
2. Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology (WCAG-EM) – Режим доступа: <https://www.w3.org/TR/WCAG-EM> (дата обращения: 25.08.2024).
3. ГОСТ Р 52872-2019 Интернет-ресурсы и другая информация, представленная в электронно-цифровой форме. Приложения для стационарных и мобильных устройств, иные пользовательские интерфейсы. Требования доступности для людей с инвалидностью и других лиц с ограничениями жизнедеятельности (с Поправкой) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=3&month=9&year=2019&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=225834> (дата обращения: 23.08.2024).
4. Косова Е.А. Базовый алгоритм и открытые данные аудита цифровой доступности электронного обучения // Вопросы образования. – 2023. – № 2. – С. 282-308. – DOI 10.17323/1814-9545-2023-2-282-308.
5. Косова Е.А., Гапон А.С., Редкокош К.И. Исследование доступности электронных образовательных ресурсов на университетской платформе Moodle // Информатика и образование. – 2021. – № 9(328). – С. 5-22. – DOI 10.32517/0234-0453-2021-36-9-5-22.
6. Романенкова Д.Ф. Доступность цифрового образовательного контента для людей с различными видами нарушений здоровья // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : Сборник трудов XX Международной научно-практической конференции, Махачкала, 01–10 октября 2023 года. – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского, 2023. – С. 42-46.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗМЕТКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОРПУСА ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕКСТОВ

Рунов К.А.
МГТУ им. Н. Э. Баумана
+7 (926) 670-46-33, rukos2001@gmail.com

В статье рассмотрены актуальные проблемы разметки параллельных корпусов технических текстов, рассмотрена функциональность информационной системы для решения некоторых из них. Выделены роли пользователей, приведен сценарий возможного использования системы. Разработана диаграмма сущностей и связей базы данных для описанной информационной системы.

Ключевые слова: корпусная лингвистика, параллельные корпуса текстов, терминологическая разметка, база данных.

Designing a database for annotating a parallel corpus of technical texts. Runov K.A., BMSTU.

The article is devoted to actual problems of annotating parallel corpora of technical texts as well as to solving part of them via an information system. The functionality of the latter is considered. User roles are defined, a scenario of the system usage is given. A scheme of database entities and relations is designed for the information system of interest.

Keywords: corpus linguistics, parallel corpora, terminological markup, database.

Введение

На сегодняшний день корпусная лингвистика является неотъемлемой частью лингвистики, науки о языке [1]. Корпуса текстов находят применение в различных областях — в машинном переводе, в разработке словарей, в лингвистических исследованиях. Для того, чтобы из корпуса текстов можно было извлекать пользу, тексты в нем должны быть размечены. Существуют различные алгоритмы, позволяющие автоматически производить разметку текстов, но для проверки ее корректности все равно, как правило, требуется вмешательство человека. Также большое значение имеет составление размеченных человеком текстовых корпусов для дальнейшего использования корпусных данных [2].

На данный момент не существует открытых параллельных корпусов технических текстов, а также инструментов для автоматической разметки русскоязычных текстов [3, 4]. Это делает актуальной разработку информационной системы для участников разметки параллельного корпуса технических текстов.

Целью данной статьи является создание диаграммы сущностей базы данных для программного обеспечения (далее — информационной системы), предназначенного для участников разметки параллельного корпуса технических текстов.

Для достижения поставленной цели будут решены следующие задачи:

- рассмотрены актуальные проблемы, с которыми сталкиваются участники разметки параллельных корпусов технических текстов;
- описана функциональность информационной системы, позволяющей организовать работу множества участников разметки параллельного корпуса технических текстов;
- выделены сущности базы данных для описанной информационной системы.

Проблемы разметки параллельных корпусов технических текстов

Актуальные проблемы разметки параллельных корпусов технических текстов связаны с автоматическим определением границ терминов. Среди них выделяют [4]

- неправильное определение границ терминов-словосочетаний, состоящих из двух и более слов и составных терминов,
- распознавание составных терминов и терминов-словосочетаний, состоящих из двух и более слов,
- определение лексической единицы как термина в зависимости от контекста и тематики текста, в котором данная лексическая единица употребляется,
- объемные списки терминов-кандидатов, которые необходимо проверять вручную.

Точность определения границ термина при автоматической разметке является одной из основных лингвистических задач, но на сегодняшний день отсутствуют информационные системы для автоматической разметки русскоязычных текстов [4].

Существующие параллельные корпуса текстов и информационные системы для разметки текстов

Существует ряд параллельных корпусов (MyMemory, Opus, Linguee, Glosbe, Reverso, TAUS Data Cloud и др.) [5], сервисов для автоматического выравнивания текстов (Hunalign, Euclid, ABBYY Aligner, Trados, Winalign, Wordfast tools, Giza++ и др.) [1], инструментов для автоматического извлечения терминов (TerMine, TermExtraction, Terminology Extraction) [3]. Однако не существует открытых параллельных корпусов технических текстов, а также инструментов для проведения автоматической разметки русскоязычных текстов [3, 4].

Функциональность информационной системы для участников разметки параллельного корпуса технических текстов и сценарий использования

Для организации работы множества участников разметки параллельного корпуса технических текстов информационная система должна обладать рядом функций, которые можно разделить на три категории, согласно ролям: функции пользователя, модератора и администратора.

Администратор системы имеет полный доступ к данным: может добавлять, удалять тексты, добавлять, удалять, изменять разметки, назначать новых модераторов.

Модератор может создавать, изменять и удалять задания на разметку, а также производить проверку разметки, после чего либо утверждать, либо отклонять ее.

Пользователь может выполнять задания на разметку, просматривать выполненные разметки, производить поиск по корпусу.

Каждый пользователь имеет свой «рейтинг доверия», который растет с увеличением количества его утвержденных разметок. Этот показатель используется как для мотивации размечающих-волонтеров как инструмент геймификации [6] — применения игровых технологий в неигровых ситуациях с целью повышения вовлеченности в процесс и эффективности решения задач [7]. Другое применение указанного показателя — внутренняя оценка качества и правильности разметки данных, выполненной пользователем системы — участником разметки [2]. Согласие между участниками разметки, или единообразие разметки, связано с различием в их знаниях, опыте, экспертизе, добросовестности, усталости, а также с возможными неоднозначностями в данных [8].

Сценарий использования системы может быть следующий.

1) Администратор загружает документ в систему, перед этим заполнив метаинформацию о нем — язык, название текста, информацию об авторах.

2) Из документа извлекаются предложения и добавляются в таблицу «Предложение» базы данных со ссылкой на документ, которому они принадлежат.

3) Производится токенизация загруженного текста, токены добавляются в таблицу «Токен» базы данных, со ссылкой на документ и предложение, которым токен принадлежит.

4) Модератор создает задание на разметку, указав документы (оригинал и перевод), которые требуется разметить, а также добавив словесное описание задания.

5) Пользователь видит новое задание и приступает к разметке — сопоставляет части текста одного документа соответствующим им частями текста другого документа.

6) По завершении разметки пользователь отправляет ее на проверку модераторам.

7) Модераторы проверяют разметку пользователя и либо утверждают, либо отклоняют ее. В случае утверждения разметки у пользователя увеличивается «рейтинг доверия».

Сущности базы данных для описанной информационной системы

Для описанной информационной системы выделены следующие сущности.

- Пользователь.
- Документ.
- Автор.
- Задание на разметку.
- Структурная разметка.
- Терминологическая разметка.
- Предложение.
- Токен.

Сущность Пользователь формализует данные об авторизованном пользователе системы (авторизованный пользователь может быть, как модератором или администратором, так и обычным пользователем) и имеет атрибуты: Имя пользователя в системе, Адрес электронной почты, Уровень доверия.

Сущность Документ формализует данные о документе, загруженном в систему, и имеет следующие атрибуты: Название документа, Язык, Ссылка на файл с документом (может быть URL или путь к файлу), Ссылка на оригинальный документ (в случае если данный документ является переводом).

Сущность Автор формализует данные об авторе документа и имеет атрибуты: Фамилия автора, Имя, Отчество, Email. Автор связан с Документом отношением многие-ко-многим, так как у одного документа может быть несколько авторов, и в то же время одному автору может принадлежать несколько документов.

Сущность Задание на разметку имеет атрибуты: Текстовое описание задания, Ссылка на оригинальный документ, который требуется разметить, Ссылка на перевод документа, который требуется разметить, Ссылка на пользователя системы, который создал задание на разметку.

Сущность Структурная разметка формализует вид разметки, при котором для разметки требуется лишь один документ. Примеры задания на структурную разметку: «Выделить аннотацию в документе», «Выделить авторов в документе», «Выделить основную часть в документе». Имеет атрибуты: Ссылка на задание на разметку, Ссылка на документ, Начальное предложение, Конечное предложение, Ссылка на автора разметки, Статус (утверждена модератором, находится на проверке и т.д.).

Сущность Терминологическая разметка формализует вид разметки, при котором частям текста документа-оригинала сопоставляются соответствующие им части документа-перевода. Терминологическая разметка состоит из «частей». Сама разметка имеет атрибуты: Ссылка на задание на разметку, Ссылка на оригинальный документ, Ссылка на перевод, Ссылка на автора разметки, Статус. «Часть» разметки имеет атрибуты: Ссылка на терминологическую разметку (частью которой она является), Предложение оригинала, Предложение перевода (которым принадлежат токены, составляющие «часть» терминологической разметки), Начало токена оригинала, Конец токена оригинала, Начало токена перевода, Конец токена перевода, Номер «части» в пределах всей разметки. Терминологическая разметка связана со своими «частями» отношением один-ко-многим.

Сущность Предложение имеет атрибуты: Ссылка на документ, которому предложение принадлежит, Номер предложения в пределах документа, Содержание предложения (текст).

Сущность Токен имеет атрибуты: Ссылка на документ, Номер предложения в пределах документа, которому токен принадлежит, Номер токена в пределах предложения, Содержание токена (текст).

На рисунке 1 предложен вариант диаграммы сущностей и связей базы данных для описанной информационной системы.

Заключение

В данной статье были рассмотрены актуальные проблемы, с которыми сталкиваются участники разметки параллельных корпусов технических текстов, описана функциональность информационной

практическая конференция (Москва, 16 декабря 2020 года) : сборник материалов конференции : в 2 т. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»; Факультет «Лингвистика» МГТУ им. Н. Э. Баумана; Ассоциация технических университетов России и Китая; Евразийское общество прикладной лингвистики. — М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — Т. 1. — С. 238–242.

6. Хрушова Д.В., Ерохина Е.А. Использование элементов геймификации при изучении программирования // Новые информационные технологии в автоматизированных системах: материалы двадцать первого научно-практического семинара. — М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2018. — С. 328–332.

7. Kapp K. M. The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education. — San Francisco: Pfeiffer, 2012. — 336 p.

8. Zhang Z., Chapman S., Ciravegna F. A methodology towards effective and efficient manual document annotation: addressing annotator discrepancy and annotation quality // Cimiano P., Pinto H.S. (eds.) EKAW 2010. LNCS (LNAI). — Heidelberg: Springer, 2010. — Vol. 6317. — Pp. 301–315.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НА ПЛОСКОСТИ В ШКОЛЕ

Садыкова Е.Р., Разумова О.В., Мерзлякова В.А.*

Казанский (Приволжский) федеральный университет (Россия, Казань), * МБОУ «Гимназия №107»
(Россия, Казань)

+7 (917) 286-66-17, sadikova_er@mail.ru

В статье с учетом выявленных методических особенностей и рекомендаций показаны возможности применения образовательного тренажера при изучении темы «Геометрические преобразования на плоскости» в классах математического профиля.

Ключевые слова: образовательный тренажер, цифровая среда, геометрические преобразования на плоскости, инверсия, информационно-коммуникационные технологии.

On the possibilities of using an educational simulator in studying geometric transformations on a plane at school. Sadykova E.R., Razumova O.V., Merzlyakova V.A.* Kazan (Volga region) Federal University (Russia, Kazan), *MBGEI "Gymnasium No. 107" (Russia, Kazan).

The article, taking into account the identified methodological features and recommendations, shows the possibilities of using an educational simulator when studying the topic "Geometric transformations on a plane" in classes with a mathematical profile.

Keywords: educational simulator, digital environment, geometric transformations on a plane, inversion, information and communication technologies.

В настоящее время современное образование ориентировано на вхождение в «процесс цифрового образовательного пространства» [8]. Возможности цифровой среды все более активно используются в образовательном пространстве школы. AR и VR технологии, интерактивные тренажеры, средства визуализации, информационно-коммуникационные технологии являются востребованными в процессе обучения различных школьных дисциплин. Особенно таких предметов, в обучении которых возникает необходимость оперировать моделями, образами. Одним из таких предметов является геометрия.

В процессе изучения систематического курса геометрии 7-9 классов учащиеся знакомятся с одной из сложных тем данного курса – «Геометрические преобразования». Тема «Геометрические преобразования» занимает важное место в курсе геометрии средней школы, играет серьезную роль в математической подготовке школьника, содержит в себе огромный потенциал. Изучение темы в курсе планиметрии способствует развитию исследовательской деятельности и творчества учащихся, повышает уровень логического мышления, интуиции, внимания, целеустремленности. Расширение теоретических сведений дает возможность учащимся применить их при решении нестандартных задач. На более углубленном уровне вопросы данного раздела изучаются в классах математического профиля.

Для успешного освоения учащимися 9 класса математического профиля данного раздела нами был разработан образовательный тренажер «GeoForms», целью которого стало обобщение и систематизация знаний по теме «Геометрические преобразования на плоскости» [5]. Данный ресурс является основным дополнением к элективному курсу, в содержание которого отражены вопросы, связанные с применением метода геометрических преобразований на плоскости, что расширяет программу по данной теме, учитывая математический профиль. Так, включение темы «Инверсия» способствует, развитию конструктивных умений, лучшему пониманию понятия «преобразование». В процессе разработки ресурса были

проанализированы соответствующие вопросы программы, действующих учебников и дидактических материалов для выявления методических особенностей и рекомендаций темы. Анализ научной, учебно-методической литературы показал, что при обучении теме «Геометрические преобразования на плоскости» в классах математического профиля нужно учитывать следующие положения:

1. Целесообразно термин «геометрические преобразования» вводить во взаимосвязи с понятием «функция».

2. Для введения определения «движения» предлагать учащимся примеры для установления - является ли заданное преобразование движением или нет.

3. Учитывать, что свойства движений общие для всех видов. Некоторые изучаемые свойства предлагать учащимся рассмотреть самостоятельно.

4. При рассмотрении таких видов движения, как центральная и осевая симметрия, параллельный перенос и поворот, важно показать правило, по которому вводятся определения этих видов – это помогает построению логичного курса изучаемого материала. А также, это правило связывается каждый вид движения с понятием «геометрическое преобразование». Таким образом, учащиеся смогут понять принципы данных преобразований.

5. При обучении каждому виду движения на плоскости необходимо выстроить последовательность изложения материала следующим образом: после введенного правила, по которому задаются определения движений, познакомить учащихся с сокращенной записью преобразования; обосновать с помощью каких элементов задается преобразование; указать характерные признаки каждого движения; решение нестандартных задач на закрепление изученного материала.

6. После рассмотрения движений следует перейти к преобразованиям подобия. Так как с понятием «подобие» учащиеся познакомились в курсе геометрии в 8 классе под редакцией Л.С. Атанасяна [2], то в качестве актуализации предложить задачу, решаемую с помощью преобразования подобия.

7. При изучении вопросов, связанных с различными случаями поведения коэффициента подобия необходимо, использовать динамические чертежи на базе образовательной платформы «GeoGebra». После рассмотрения всех случаев поведения коэффициента подобия стоит обратить внимание на частный случай – «Гомотетия». Как и при рассмотрении свойств движения, свойства подобия вынести в качестве задачного материала.

8. После обучения видам движений плоскости и преобразований подобия, учащимся показывается применение преобразований плоскости к решению геометрических задач – это позволит выделить еще один метод решения задач в геометрии.

9. При переходе к изучению темы «Инверсия» стоит рассмотреть серию задач на построение, которые помогут сформулировать понятие «инверсия». В качестве самостоятельной работы предложить провести доказательство основного тождества.

Все перечисленные методические аспекты учитывались нами при разработке тренажера.

Образовательный тренажер – «программно-методический комплекс для оценки знаний, умений и навыков учащихся их тренировки в процессе решения задач» [7]. Самостоятельная работа учащихся при использовании тренажера позволяет осуществлять переход от традиционного обучения к самоконтролю, прорабатывать наиболее трудные разделы учебной дисциплины [7].

При разработке цифрового образовательного ресурса для учащихся математического профиля по теме «Геометрические преобразования на плоскости» был избран программный продукт компании «Ukit». Данная платформа позволила создать тренажер, удовлетворяющий таким требованиям, как: «доступность (касается сложности и глубины представленного материала в зависимости от аудитории); принцип наглядности (соответствие наглядно-образному мышлению учащихся); полноценность обучения (возможность получить максимальную пользу от обучения); последовательность и систематичность (изучение материала от простого к сложному, опираясь на имеющиеся знания)» [5].

Данный образовательный тренажер позволяет актуализировать материал по геометрическим преобразованиям, расширяя и дополняя теоретические сведения, способствует организации самостоятельной работы учащихся.

Ресурс «GeoForms» содержит четыре блока для изучения (рис. 1): преобразования движения, преобразования подобия, инверсия, контрольные вопросы. В тренажере предусмотрена система навигации, позволяющая перемещаться внутри ресурса (рис. 2), (рис. 3). Для размещения материала в представленных блоках нами использовались учебные пособия Л.С. Атанасяна [3], Г.И. Саранцева [6], В.М. Уроева [9], А.Д. Александрова [1]. Прогнозируемый результат использования технологии – успешное усвоение материала учащимися. Интерфейс интуитивно понятен и удобен в работе.

При отработке темы «Преобразования движения» учащимся предлагалась серия задач на параллельный перенос, поворот, центральная и осевая симметрия. Учащиеся самостоятельно решали задачу, после выполнения задания нажимали на кнопку «Введите ответ». Если ответ содержал численное решение, то учащиеся вводил это значение (число или выражение), в случае задачи на доказательство –

учащиеся описывали ход решения и прописывали вид используемого при решении преобразования (Рис. 4), (Рис. 5).

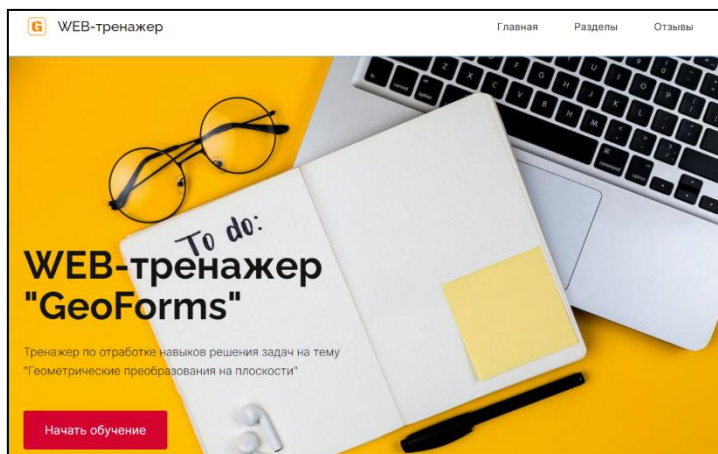


Рисунок 1 – Главная страница web-тренажера

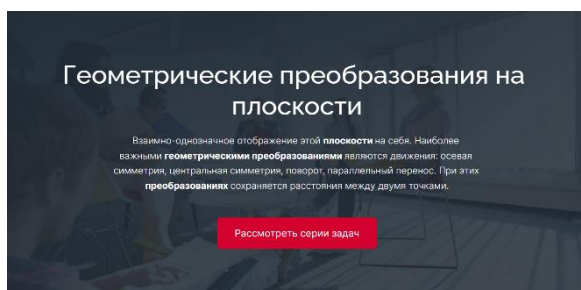


Рисунок 2 – Пример навигации по главной странице



Рисунок 3 – Блоки задач

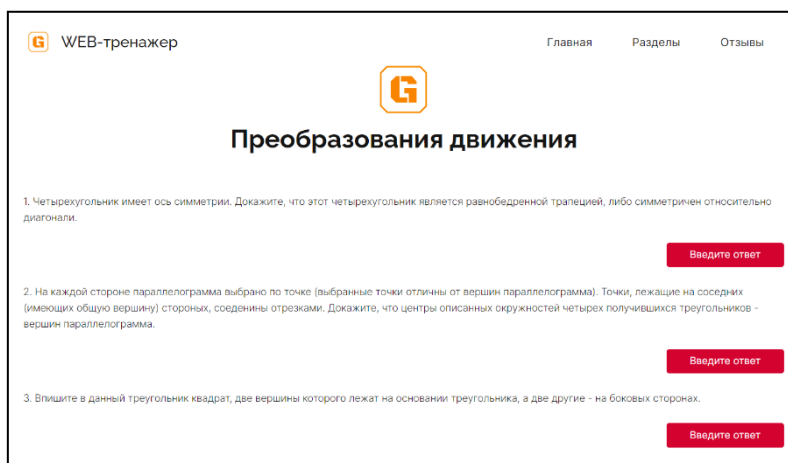


Рисунок 4 – Задачи на тему «Преобразования движения»

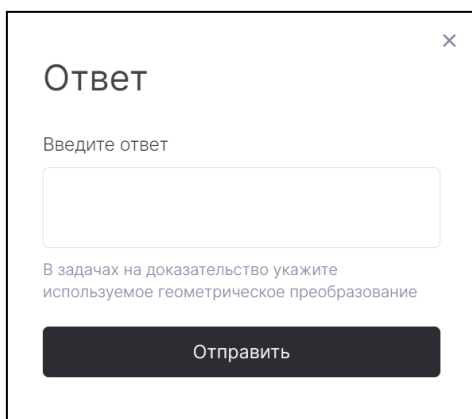


Рисунок 5 – Ввод ответа

Аналогичные действия учащийся проделывает в разделах «Преобразования подобия» и «Инверсия».

Все ответы учеников учитель получает на почту. Таким образом, он сможет отследить работу учащихся, кто приступает к выполнению заданий, а кто – нет. Как только ответы на задания учитель получит на почту, появится новая вкладка с решением задач, так учащиеся смогут проверить правильность своих рассуждений.

При разработке раздела «Контрольные вопросы» нами предложены задания, а также составлены вопросы с использованием материалов, представленных в действующих школьных учебниках [1], [2], [4]. Данный список вопросов направлен на рефлексию учебной деятельности учащихся, они являются завершающим блоком в изучении «Геометрических преобразований на плоскости» (Рис. 6).



Рисунок 6 – Контрольные вопросы

Разработанный тренажер позволил учителю организовать самостоятельную деятельность учащихся, используя возможности ресурса. В процессе выполнения заданий учащиеся смогли не только обобщить вопросы темы, но и решить большое количество предложенных геометрических задач различного уровня сложности. Применение образовательного тренажера при изучении рассматриваемого раздела позволило индивидуализировать процесс обучения, провести анализ образовательных результатов учащихся.

Литература

1. Александров А.Д., Вернер А.Л., Рыжик В.И. Геометрия: учебник для 9 класса школ с углубленным изучением математики. – М.: Просвещение, 2004. – 240 с.
2. Атанасян Л.С., Бутузов В.Ф., Кадомцев С.Б. и др. Геометрия. 7-9 классы: учебник для общеобразовательных учреждений. – М.: Просвещение, 2015. – 383 с.
3. Атанасян Л.С., Бутузов В.Ф., Кадомцев С.Б. и др. Дополнительные главы к школьному учебнику 9 класса: учебное пособие для учащихся шк. и кл. с углубленным изучением математики. – М.: Просвещение, 1997. – 176 с.

4. Погорелов А.В. Геометрия. 7-9 классы: учебник для общеобразовательных организаций. – 2-е изд. – М.: Просвещение, 2014. – 240 с.
5. Садыкова Е.Р., Разумова О.В., Мерзлякова В.А. О некоторых вопросах изучения геометрических преобразований на плоскости в классах математического профиля // Информация и образование: границы коммуникаций INFO'23: сборник научных трудов / Под ред. А.А.Темербековой, И.В.Соловьиной. – Горно-Алтайск: БИЦ ГАГУ, 2023. – С. 389-392.
6. Саранцев Г.И. Сборник задач на геометрические преобразования: пособие для учащихся. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Просвещение, 1981. – 112 с.
7. Симйонка Г.Ю. Интернет-тренажеры как новый метод обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-trenazhery-kak-novyy-metod-obucheniya/viewer>
8. Скафа Е.И., Ганжа А.А. Виртуальные тренажеры обучения решению планиметрических задач // Дидактика математики: проблемы и исследования: Междунар. сборник научных работ. – 2022. – Вып. 56. – С. 81-86.
9. Уроев В.М. Инверсия // Квант. – 1984. – №5 – С. 26-32.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРВИСОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СТУДЕНЧЕСКИХ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ПРОЕКТОВ

Катасонова Г.Р.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Рассмотрены задачи, структура, форматы и тенденции развития междисциплинарных проектов (в частности, медийных), являющихся инструментом формирования цифровых компетенций студента. Представлен обзор современных информационных ресурсов искусственного интеллекта для создания, управления и продвижения медиапроектов.

Ключевые слова: проект, студенты, искусственный интеллект, целевая аудитория

Using artificial intelligence services in developing student interdisciplinary projects. Katasonova G.R., Saint Petersburg State University of Telecommunications them. prof. M.A. Bonch-Bruevich

The article considers the tasks, structure, formats and trends of development of interdisciplinary projects (in particular, media projects), which are a tool for forming digital competencies of students. An overview of modern information resources of artificial intelligence for creating, managing and promoting media projects is presented.

Keywords: project, students, artificial intelligence, target audience

Одной из главных тенденций общества цифровых данных является увеличение роли сети Интернет в бизнесе, медиапространстве, профессиональной и повседневной жизни людей, способствующей социальной интеграции пользователей Сети, созданию сообществ для обмена информацией и обсуждения актуальных событий.

Одним из инструментов, объединяющим интерактивность, актуальность, мультимедийность, коммуникацию с целевой аудиторией и дальнейшего размещения, распространения информации в современные масс-медиа является медийный проект [1].

При разработке данного вида студенческих проектов используется междисциплинарный интеграционный подход [2].

Структура командного междисциплинарного проекта включает основные позиции:

- 1) название и аннотация;
- 2) исследование будущей целевой аудитории;
- 3) формулировка актуальности;
- 4) определение цели и задач;
- 5) распределение в команде обязанностей;
- 6) определение вида медиапроекта;
- 7) создание оригинального контента;
- 8) выявление миссии проекта;
- 9) формулировка новизны и практической значимости;
- 10) определение формата распространения контента (каналы и платформы) и методов взаимодействия с аудиторией;
- 11) механизм запуска;
- 12) перечень ресурсов;

- 13) фиксация возможных рисков и их устранение;
 - 14) оценка и анализ результатов с использованием аналитических инструментов (количественные и качественные показатели);
 - 15) описание перспектив дальнейшего развития и продвижения проекта.
- Потенциальная целевая аудитория медийных проектов определяется на основе:
- 1) исследования рынка;
 - 2) анализа конкурентов в выбранной предметной области;
 - 3) опросов и анкетирования.

Это дает возможность разработать стратегию продвижения медиапроекта, нацеленную на привлечение и удержание целевой аудитории, исследование особенностей взаимосвязи между формулировками поставленных задач и итоговым проектом [3].

Формирование студентами необходимых задач проекта складывается из следующих этапов:

1. формулировка современных трендов и эффективных медиастратегий в интернет-коммуникациях;
2. создание конструктивного контента;
3. развитие личного бренда;
4. разработка техники антикризисного управления в информационных кампаниях;
5. определение потребностей и заинтересованности заказчиков проекта в новых идеях.

Интерактивность и междисциплинарность медийных проектов, как правило, проявляется в формате коммуникаций между авторами проекта (командой студентов) и целевой аудиторией в виде обратной связи, голосований, комментариев и других предложений для привлечения в процесс совместного создания контента, уточнения цели и соответствующих задач.

Содержание для медийных проектов должно привлекать внимание, мотивировать, вдохновлять, удерживать интерес к главной цели проекта. Актуальный, качественный, интересный, удовлетворяющий потребности аудитории, ориентированный на текущие актуальные события и темы контент всегда понятен и востребован.

Распространенными форматами медийных проектов являются аудио или видео записи, которые можно скачать или прослушать онлайн, посвященные различным темам: новости, развлекательные программы, образовательные лекции, дискуссии. Видеоканалы позволяют создавать интерактивный контент и взаимодействовать с аудиторией через обратную связь по различным темам: экономические новости, идеи для стартапов, обзоры современных молодежных трендов и многое другое.

В стремительно развивающуюся эпоху искусственного интеллекта (нейронные сети, машинное обучение, глубокое обучение, обработка естественного языка и т.п.) появилось множество бесплатных и удобных сервисов [4]. Благодаря росту вычислительной мощности ноутбуков и гаджетов программы искусственного интеллекта (ИИ) стали более доступными для большинства пользователей, как в обучении, так в профессиональной и повседневной жизни. Студенты при разработке медийных проектов активно используют программы ИИ написания контента, генерации картинок и видео, улучшения изображений, разработки презентаций, создания красивых панорам из фотографий, отслеживания объектов в видеоклипах, разделения музыкальных дорожек на отдельные компоненты (вокал, бас, ударные и ритм-секция).

Сервис <https://app.pytr.me/> является помощником при написании текстов в выбранном тоне (откровенный, напористый, благодарный, с юмором, предостерегающий, вдохновляющий, скромный), в разной стилистике (рекламный пост в восторженном тоне, описание вакансии в сдержанном формате), с разным уровнем креативности. Необходимо определить цель использования текста и подробно описать идею: сюжет истории, песня или стихотворение, отзыв, идея для блога, рекламное описание продукта. Готовый сгенерированный текст можно редактировать, устанавливать ориентацию и размер шрифта, добавлять цитаты и картинки.

Программы генерации изображений значительно упрощают труд специалистов в сферах экономики, менеджмента, дизайна, рекламы, бизнеса и зависят от грамотного формулирования запроса (выбор стиля изображения, размер, модель). Студентами используется сервис Playground AI, который позволяет редактировать итоговые работы, комбинировать стили, понимает обычный разговорный стиль. Итоговые генерации с первой попытки почти не обладают недочетами, полученные изображения можно дорабатывать.

Сервис VideoPoet на основе текстовых подсказок преобразует текст и изображения в видео, создает аудио, превращает статические изображения в анимированные видео, добавляет уникальные визуальные эффекты и аудиодорожки, что очень удобно при разработке медиапроектов. Есть возможность осуществлять генерацию видеоконтента «с нуля».

При разработке красочных презентаций со сложными анимациями и видео студенты предпочитают использовать классические сервисы, которые помогают общаться и делиться идеями: Prezi, MS PowerPoint, Google Slides, Zoho Show.

Современным инструментальным средством для разработки сайтов является конструктор – специализированный онлайн-сервис, который позволяет быстро и просто создать сайт, не владея знаниями в области HTML и программирования. Студенты используют конструктор WordPress в медиапроектах для разработки рекламных сайтов, сайтов-визиток, посадочных страниц, анонсов мероприятий, резюме.

Для разработки графических объектов, создания иллюстраций, элементов фирменного стиля рекламной продукции удобной считается программа Figma, в которой одновременно может работать вся команда. Для разработки инфографики используются программы: Visme, Piktochart, Cadoo, Easel.ly.

Междисциплинарная интеграция при разработке медиапроектов является увлекательным, творческим процессом, который активизирует познавательную деятельность студентов, повышает мотивацию к учебе и пониманию связей между специальными (профильными), так и непрофильными дисциплинами, задействует логическое мышление в процессе структурирования изучаемого материала от глобальных задач к частным, становится основой личностного развития будущего специалиста.

Таким образом, проект, в частности, медиапроект является традиционным способом взаимодействия обучаемого и преподавателя для достижения определенных целей в обучении – получение эвристических, наглядных, проблемных, игровых, словесных, репродуктивных, исследовательских навыков, формирование личностных свойств (компетенций), позволяющих эффективно адаптироваться в непрерывно изменяющейся обстановке, решать нестандартные задачи в современном цифровом мире [5].

Критериями оценивания выполненного проекта являются:

1. актуальность, достоверность представленного материала;
2. новизна и оригинальность содержания работы;
3. практическая значимость; подбор иллюстративного материала;
4. дизайн;
5. техническая грамотность.

Кроме этого, готовый медиапроект и составляющие его элементы оцениваются по сформированным компетенциям из разных областей знаний: информационные технологии, экономика, электронный бизнес, компьютерная графика, дизайн, психология, иностранный язык, аналитика, реклама. Данный процесс позволяет повысить профессиональную готовность к использованию знаний из различных предметных областей в будущей практической деятельности специалиста.

Современными тенденциями развития медийных проектов являются:

- 1) мультиплатформенность - доступность на различных платформах: веб-сайты, социальные сети, мобильные приложения для удовлетворения различных потребностей широкой аудитории;
- 2) наличие видео и аудио, которые представляют информацию в более привлекательной, увлекательной форме, открывают возможности дополнительного дохода через рекламу и спонсорство;
- 3) интерактивность – внедрение опросов, голосований, комментариев, позволяющих укреплять взаимодействие с аудиторией, создавать более глубокую связь;
- 4) борьба с дезинформацией, фейковыми новостями – это разработка и внедрение инструментов для обнаружения и предотвращения дезинформации, проверка достоверности распространяемой информации;
- 5) персонализация – использование алгоритмов, изучающих данные о поведении пользователей для создания и предложения пользователям персонализированного контента.

Использование программ ИИ при создании данного вида проектов помогает создать в соответствии с поставленной целью в качественном исполнении актуальный, информативный, красочный, интерактивный медиапродукт и его дальнейшее продвижение в печатных изданиях, телевидении, сети Интернет. Успешный учебный медийный проект может обрести популярность, выйти на профессиональный уровень, и в дальнейшем, возможно его финансирование, на основе полученного гранта, рекламы, инвестирования или спонсорства.

Литература

1. Катасонова Г.Р. Организация коммуникаций между студентами и преподавателями в условиях нарастания цифровизации общественного пространства // Г.Р. Катасонова, А.С. Шкрум // В сборнике: Культура, образование и искусство: традиции и инновации. Сборник статей по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции ученых-исследователей, специалистов, преподавателей вузов, колледжей, школ, учреждений дополнительного образования, руководителей образовательных учреждений, аспирантов, студентов научно-практической конференции, посвященной 110-летию нижегородского государственного педагогического университета имени Козьмы Минина. Нижний Новгород, 2021. С. 140-145.
2. Катасонова Г.Р. Модель информационных процессов в виртуальных средах / Г.Р. Катасонова, Ю.С. Соломко, А.Д. Сотников, Е.В. Стригина // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2022). Сборник научных трудов XI

Международной научно-технической и научно-методической конференции. В 4-х томах. Под редакцией А.В. Шестакова, сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич. Санкт-Петербург, 2022. С. 589-593.

3. Катасонова Г.Р. Информационные технологии в управлении дизайн-проектированием / Г.Р. Катасонова // Учебно-методическое пособие / Санкт-Петербург, 2020.

4. Катасонова Г.Р. Проблематика искусственного интеллекта и её актуализация в университете / Г.Р. Катасонова, Ю.С. Соломко, А.Д. Сотников, Е.В. Стригина // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023). Сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции. В 4-х томах. Под редакцией С.И. Макаренк, сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич. Санкт-Петербург, 2023. С. 448-452.

5. Катасонова Г.Р. Проектная деятельность студентов медицинского вуза в условиях развития цифровых образовательных технологий / Г.Р. Катасонова, А.С. Шкрум // Конструктивные педагогические заметки. 2021. № 9-1 (15). С. 144-164.

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ «ОПТИМАЛЬНЫЙ УЧЕБНЫЙ ПЛАН»

Юрчишина М.В., Бушмелева К.И.
Сургутский государственный университет
+7 (922) 251-79-39, nesterenko_mv@surgu.ru

Системы поддержки принятия решений при проектировании основываются на большом количестве структурированной информации в виде стандартных схем, моделей. В работе обоснована актуальность создания системы поддержки принятия решений (СППР) для составителя учебных планов. Построен алгоритм работы такой системы. Представленная блок-схема алгоритма работы может быть положена в основу структуры программного кода. Алгоритм достаточно явно демонстрирует возможность выделения автономных модулей, решающих различные виды оптимизационных задач для создания оптимального учебного плана. Установлены пути взаимодействия между этими модулями.

Ключевые слова: оптимизация, алгоритм, учебный план, система поддержки принятия решений.

Generalized algorithm of operating DSS “Optimal Curriculum”. Yurchishina M.V., Bushmeleva K.I., Surgut State University

Decision support systems for design are based on a large amount of structured information in the form of standard diagrams and models. The paper substantiates the relevance of creating a decision support system (DSS) for curriculum compilers. An algorithm for the operation of such a system has been constructed. The presented block diagram of the operating algorithm can be used as the basis for constructing the structure of the program code. The algorithm quite clearly demonstrates the possibility of identifying autonomous modules that solve various types of optimization problems to create an optimal curriculum. The ways of interaction between these modules have been established.

Keywords: optimization, algorithm, curriculum, decision support system.

Введение

Современная система высшего профессионального образования охватывает огромное количество аспектов. Основная составляющая – образовательный процесс – требует тщательной организации. Одним из основных инструментов организации учебного процесса является учебный план. Учебный план представляет из себя документ, содержащий полный набор дисциплин, изучаемых студентами, расстановку их по учебным периодам, точное описание количественных значений, определяющих трудоемкость каждой из них, распределение ее по видам деятельности студента и формы контроля, позволяющие оценить освоение учебной программы обучающимися, также план содержит большое количество титульных данных. Кроме этого, современный учебный план содержит информацию о предполагаемых результатах обучения в виде компетенций. При составлении учебного плана необходимо соблюсти большое количество условий и ограничений. Основные правила представлены в федеральном государственном стандарте (ФГОС) [1] для каждого направления обучения. Однако каждое учебное заведение дополняет список условий своим набором правил, фиксируемых в распоряжениях, приказах и т.п.

Из-за большого количества условий и ограничений составление учебного плана является очень сложным процессом. При создании данного документа, очевидно, необходимо учитывать в первую очередь обязательность освоения студентом достаточного уровня компетенций, зафиксированных в образовательной программе. Для этого составитель должен подобрать необходимый набор учебных дисциплин, расставить их в правильном порядке, определить необходимую и достаточную трудоемкость

каждой дисциплины в зачетных единицах (з.е.), распределить ее по видам учебной деятельности, назначить формы контроля. В силу наличия интегральных условий по трудоемкости, количеству форм контроля и т.п. этот процесс является довольно сложным. Любые изменения в отношении одной дисциплины, как правило, влекут за собой необходимость изменения параметров других дисциплин. Так, например, поскольку суммарная трудоемкость всего плана зафиксирована в ФГОС, то при необходимости увеличить трудоемкость одной дисциплины, необходимо будет уменьшить ее для какой-то другой и т.п.

Учебный план составляется, как правило, один раз в учебном году и определяет полную траекторию обучения на весь срок (например, для бакалавриата он составляет 4 года). Из-за небольшой частоты формирования документа, естественно, каждый раз составитель должен потратить достаточно большое количество времени, чтобы восстановить в памяти все нюансы составления документов.

Если по рассматриваемому направлению обучения план составляется ежегодно, то чаще всего за основу можно взять предыдущий вариант и внести корректировки в него. Если же требуется создать план для нового направления, то придется потратить значительно больше усилий на внесение первичных значений. Но даже при наличии основы в виде предыдущего документа, бывает необходимо внести такие корректировки и в таком количестве, что на составление плана уходит несколько дней работы составителя. Чаще всего составитель вносит требуемые изменения и далее балансирует с помощью «симметричных» корректировок план до такого состояния, чтобы он удовлетворял всем условиям. Подобный подход является не лучшим, так как часто ведет к появлению логических ошибок в погоне за удовлетворением формальных правил. И заканчивается формирование документа не при получении оптимального варианта, а при получении документа, удовлетворяющего всем формальным правилам.

Современный уровень развития информационных технологий позволяет решать очень сложные математические задачи, в том числе оптимизационные. Но информационные системы (ИС), предназначенные для составления учебных планов, не содержат оптимизационной составляющей, а лишь проверяют весь перечень установленных условий. Такой, например, является ИС «Планы» [2]. Для специалистов, решающих задачи по созданию планов, создаются СППР [3-4], решающие на основе внесенных данных оптимизационные задачи. Поиск всех допустимых вариантов и выбор из них оптимального при таком количестве параметров у человека отнял бы слишком много времени в то время, как ЭВМ способна просчитать за допустимый промежуток времени. При наличии такой системы для создания оптимального учебного плана, составление документа стало бы менее трудоемким для человека и качественно вывело бы созданные документы на новый уровень, поскольку в настоящее время оптимальности учебного плана не требуется. Еще одна причина, по которой не создаются оптимальные учебные планы – отсутствие четкого критерия оптимальности. Подход к оптимизации учебного плана, предполагаемый в данной работе представлен в [5]. В научных публикациях описано большое количество других подходов к оптимизации учебного плана [6-10], принципиально отличающихся самой постановкой задачи, поэтому проектируемая система не подойдет для них.

В [5] выделено несколько оптимизационных задач при составлении учебного плана. Каждая из этих задач должна быть решена отдельно, при фиксации параметров, получаемых в результате решения других задач (например, для оптимизации расстановки дисциплин по семестрам необходимо установить трудоемкость каждой дисциплины, а для распределения трудоемкости – зафиксировать расстановку дисциплин и т.д.).

Создание СППР обычно требует значительной проектировочной составляющей. Поскольку описываемая система является сложной, решающей несколько оптимизационных задач, необходимо качественно проработать взаимодействие между частями, решающими каждую из оптимизационных задач в отдельности. В данной работе основной целью является описание алгоритма [11] работы СППР «Оптимальный учебный план».

Постановка задачи

Создание программного кода такой сложной системы, как система поддержки принятия решений требует большого количества времени и качественного распределения общего объема работ на автономные части. Для наилучшего понимания организации работы над такой системой ключевое значение имеет представление общей структуры и взаимосвязи между элементами. Один из удобных вариантов описания системы является построение блок-схем алгоритмов работы, которые позволяют выделять автономные части системы и установить связи между ними.

Блок-схема общего алгоритма работы СППР «Оптимальный учебный план» представлена на рисунке 1.

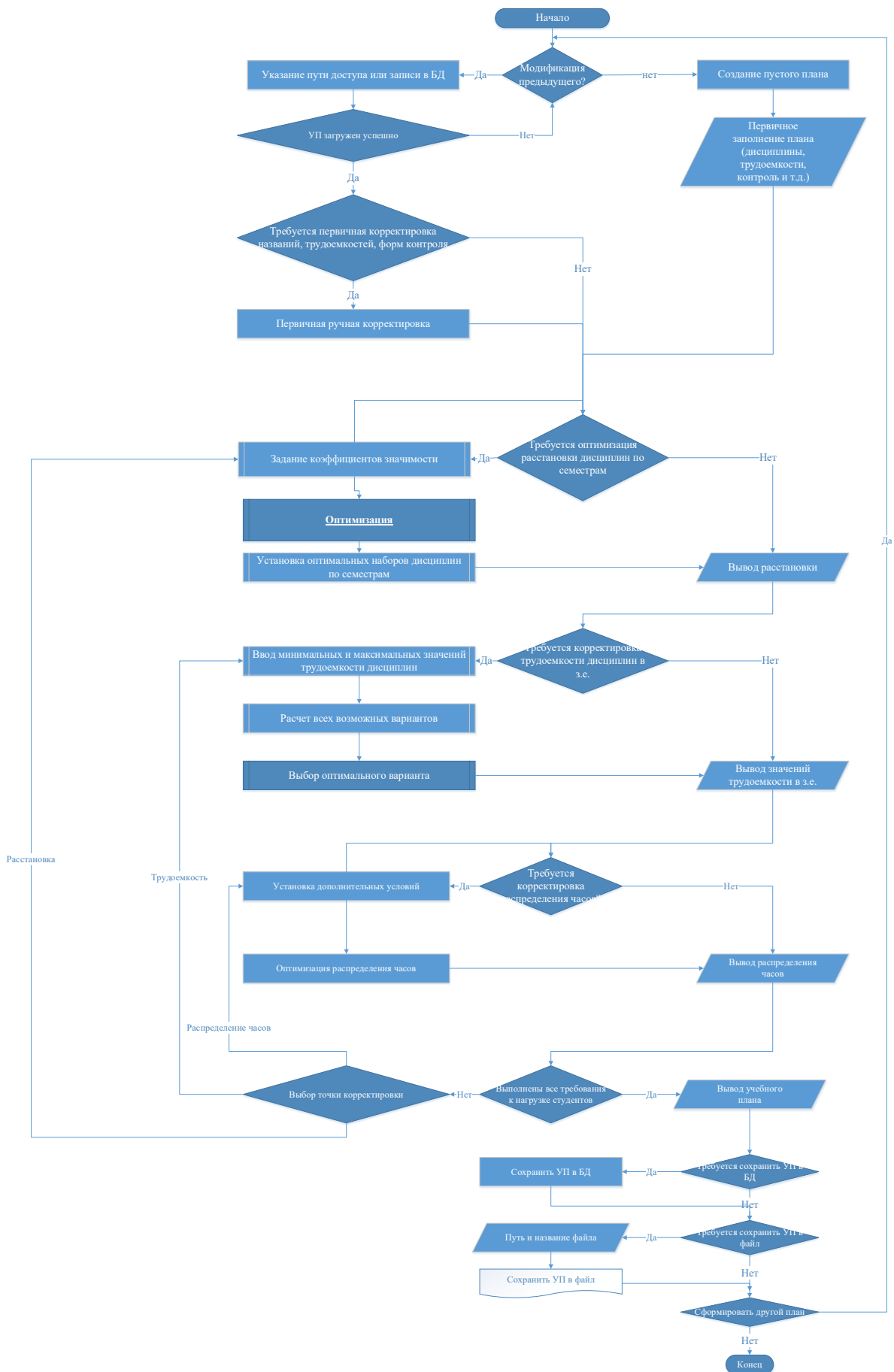


Рисунок 1 – Блок-схема обобщенного алгоритма работы СППР «Оптимальный учебный план»

1. Создание учебного плана в СППР «Оптимальный учебный план» может быть выполнено двумя способами:

- создание пустого документа и заполнение всех элементов;
- загрузка имеющегося документа (например, созданного для предыдущего набора обучающихся или другого направления и т.п.) и модификация его элементов.

Поэтому при загрузке системы пользователь в первую очередь должен выбрать способ создания нового учебного плана.

2.

а. Если выбран вариант создания пустого документа, то необходимо будет заполнить основные сведения для дальнейшей работы (названия дисциплин, формы контроля, допустимые трудоемкости и т.д.). После заполнения всех первичных данных можно переходить к оптимизации плана.

б. Если выбран вариант загрузки имеющегося плана, то необходимо указать путь к файлу, в котором данный план сохранен. При успешном считывании можно внести корректировки первичных данных и далее переходить к оптимизации плана. При некорректной попытке считывания файла по указанному пути пользователю будет снова предложен выбор загрузки другого файла или создания пустого плана.

3. В случае, если необходима оптимизация расстановки дисциплин по семестрам, необходимо указать значения коэффициентов значимости дисциплин, выступающих в роли весов в данной оптимизационной задаче. Поскольку понятие коэффициента значимости не является базовым для предметной области, система предполагает наличие интеллектуального модуля, позволяющего сформировать значения этих коэффициентов на основании типов компетенций, формируемых дисциплинами и экспертных оценок. После решения оптимизационной задачи или в случае отсутствия необходимости ее решать выводится распределение дисциплин по учебным семестрам.

4. При необходимости оптимизации распределения трудоемкости по дисциплинам требуется ввести минимальные и максимальные значения трудоемкости для тех дисциплин, которые допускают вариации. После решения оптимизационной задачи о распределении общей трудоемкости или в случае, если решение ее не требуется, будет выведен перечень дисциплин с установленными значениями трудоемкости в з.е.

5. При необходимости оптимизировать распределение трудоемкости по видам деятельности студента (лекции, лабораторные работы и т.п.) требуется указать условия баланса (больше лекций, больше практик и т.п.). После решения оптимизационной задачи или в случае, если ее решать не требуется, выводится полученное распределение часов по видам деятельности для всех дисциплин.

6. Производится полная проверка всех условий, которым должен удовлетворять план для студентов.

а. Если какое-то условие не выполняется, то предлагается возможность возврата к одной из точек оптимизации.

б. Если все условия выполнены, то можно сохранить готовый план в базу данных, файл.

7. Можно начать работу по созданию нового плана.

Данная блок-схема наглядно демонстрирует возможность создания 4 модулей: три модуля оптимизации и последний модуль – формирования окончательного документа. Каждый модуль представляет собой отдельный блок кода. Взаимосвязь между модулями необходима с передачей выходных данных, сформированных в модуле.

Алгоритм является общим, поэтому не содержит подробное описание блоков решения оптимизационных задач. При этом алгоритм работы каждого блока оптимизации является в свою очередь очень сложным. Некоторые аспекты выполнения блока «ОПТИМИЗАЦИЯ» при решении задачи о расстановке учебных дисциплин по семестрам рассмотрены в [12-13]. В данных работах описан подход к выбору коэффициентов значимости и построению интеллектуального модуля, помогающего составителю их установить.

Заключение

Построен обобщенный алгоритм работы СППР «Оптимальный учебный план». Алгоритм учитывает решение трех оптимизационных задач:

1. оптимизация расстановки дисциплин;
2. оптимизация распределения трудоемкости по дисциплинам;
3. оптимизация распределения трудоемкости по видам деятельности.

Алгоритм предусматривает последовательный переход от одной задачи к другой и, при необходимости, возврат к предыдущей. В следующих работах предполагается построить детализацию блоков решения оптимизационных задач, основывающуюся на математических методах оптимизации.

Литература

1. Федеральный государственный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника от 19 сентября 2017 г № 929. — М.: Минобрнауки России, 2017. — 21 с.
2. Реестр программного обеспечения. Реестровая запись №2375 от 15.12.2016 [электронный ресурс]: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/303725/> (Дата обращения: 23 августа 2024)
3. Ларичев О. И., Петровский А. Б. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития. // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. — Т.21. М.: ВИНТИ, 1987, с. 131—164.
4. Сараев А. Д., Щербина О. А. Системный анализ и современные информационные технологии //Труды Крымской Академии наук. — Симферополь: СОНАТ, 2006. — С. 47-59
5. Юрчишина М.В., Бушмелева К.И. Математическое моделирование процесса оптимизации учебного плана высшего образования // Сборник трудов Национальной научно-практической конференции Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты. г. Москва. 2022. С. 141-144.
6. Анциферова В.И. Оптимизация формирования учебного плана и составление расписаний // Информационные технологии моделирования и управления, 2009. №1(53). - С.8-15
7. Алексахин С.В., Николаев А.Б., Строганов В.Ю. Моделирование связности дисциплин учебного плана в системе дистанционного образования // XI Международная конференция-выставка "Информационные технологии в образовании" ("ИТО-2001") Секция: 3. ИТ в открытом образовании.
8. Бабкина О.М., Е.А. Бабкин Об оптимизации учебных планов. // Информационные технологии в образовании: материалы II Международной научно-практической конференции «Информационные технологии образования (ИТО-Черноземье – 2008)». Ч. 2. Изд-во КГУ – Курск/ - 2008.
9. Грибова Г.В. Информационная система проектирования и разработки учебного плана по направлениям подготовки в вузе //Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии в экономике, науке и образовании» в 2-х ч.; ч.1 /Под ред. О.Б. Кудряшовой; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ, 2009. – С.91-93.
10. Дроздов Н.А. Оптимизация учебных планов // Информационные технологии в образовании: материалы II Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании (ИТО-Черноземье – 2008)». Ч. 2. Изд-во КГУ – Курск, 2008.
11. ГОСТ 19.701-90. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения. (Дата обращения: 23 мая 2007)
12. Сапожник К.В., Юрчишина М. В., Бушмелева К.И. Концепция интеллектуальной подсистемы подбора коэффициентов значимости дисциплин // Сборник трудов Национальной научно-практической конференции Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты. г. Москва. 2023. С. 698-701.
13. Юрчишина М. В., Бушмелева К. И. Подход к формированию групп связанных дисциплин для обучающихся бакалавриата по направлению «Информатика и вычислительная техника» // Успехи кибернетики. 2023. Т4(2). С. 54–60. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-XX.

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СИСТЕМНОСТИ ТЕКСТОВ, ИМЕЮЩИХ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКУЮ СВЯЗНОСТЬ

Федосеев С.В., Павловский И.С.*

Российский государственный университет правосудия, *Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации
Одинцовский филиал

В статье рассмотрены общие подходы к оценке системности текстов, имеющих терминологическую связность. Выявлена взаимосвязь системности текстов, имеющих терминологическую связность с непротиворечивостью терминов текста друг другу, их иерархичностью, наличием взаимодействия и взаимосвязи. Определено, что для проведения анализа систематизации текста, имеющего терминологическую связность, необходимо выполнить его преобразование в семантическую сеть. Предложена логико-семантическая модель определения понятия. Разработана процедура интеграции определений понятий в однородную ориентированную сеть.

Ключевые слова: системность терминологии, текст, имеющий терминологическую связность формальные методы оценки системности текстов, целостность и иерархичность системы терминов, оценка целостности терминологического текста, определяющий термин, определяемый термин, терминологический анализ.

General approaches to assessing the systematicity of conceptually related texts. Fedoseev S.V. Russian State University of Justice (RSUJ), * Pavlovsky I.S. Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation Odintsovo branch.

The article considers general approaches to assessing the systematicity of texts with terminological coherence. The relationship between the systematicity of texts with terminological coherence and the consistency of text terms with each other, their hierarchy, the presence of interaction and interrelation is revealed. It is determined that in order to analyze the systematization of a text with terminological coherence, it is necessary to transform it into a semantic network. A logical-semantic model for defining a concept is proposed. A procedure for integrating definitions of concepts into a homogeneous oriented network is developed.

Key words: systematicity of terminology, text with terminological coherence, formal methods for assessing the systematicity of texts, integrity and hierarchy of the term system, assessment of the integrity of a terminological text, defining term, defined term, terminological analysis.

Введение

Тексты, имеющие терминологическую связность (ТИТС) определяются как тексты, содержащие термины, определения, понятия, связанные с некоторой отраслью знаний. Именно при исследовании ТИТС становится возможным применение формальных методов анализа текстов.

К категории ТИТС может быть отнесен достаточно широкий набор различных документов. Это могут быть инструкции, методические пособия, учебники по отраслям науки и техники, терминологические словари, энциклопедии, терминологические стандарты и др.

Другим наглядным примером является применение ТИТС в юридической сфере. Общеприменимой в настоящее время является такая юридическая конструкция, в соответствии с которой во вводной части нормативного правового акта размещается краткий терминологический словарь применяемых юридических терминов. Кроме того, планируется разработка электронного тезауруса, включающего в себя словарь допустимых для применения юридических терминов и правила, определяющие процедуру подготовки нормативных правовых документов. Предполагается законодательное утверждение обязательного применения такого электронного тезауруса [1, 2].

Системность текстов, имеющих терминологическую связность

Термины, рассматриваемые в текстах, имеющих терминологическую связность, должны соответствовать набору взаимосвязанных и согласованных понятий. Реализация принципа системности позволяет реализовать такое соответствие [4].

Системность текстов, имеющих терминологическую связность, может быть представлена как такое состояние, при котором набор терминов текста характеризуется непротиворечивостью друг другу, иерархичностью, наличием взаимодействия и взаимосвязи [5].

Иерархичность – важнейшая характеристика из этого набора. Применительно к терминологической системе иерархичность означает представление такой системы в виде совокупности страт (уровней терминов), между которыми устанавливается взаимосвязь в строго определенном направлении сверху вниз (от верхней страты – к нижней). Очевидно, что к верхним стратам относятся термины, обозначающие более общие, системные понятия. Термины, относящиеся к нижним стратам, обозначают понятия, которые определяются с использованием терминов и понятий верхних страт.

Выполнение принципа иерархичности позволяет исключить появление в терминологической системе взаимосвязей между терминами и понятиями в направлении, противоположном «сверху вниз» и обеспечить последовательное определение (вхождение) этих терминов и понятий по принципу «снизу вверх».

Для анализа иерархичности терминологических систем, относящихся к различным прикладным областям, возможно применение достаточно широкого набора методических подходов, представленных в научной литературе [5].

Однако, большая часть этих методических подходов обладает тем существенным недостатком, что предполагает использование только организационных и правовых процедур систематизации и не применяет формальные методы и количественные показатели для оценки системности текстов, имеющих терминологическую связность.

Общие подходы к систематизации текстов, имеющих терминологическую связность

Текст, имеющий терминологическую связность, содержит в себе составные части (терминологические единицы) и может рассматриваться как система, важнейшим свойством которой является целостность.

Понятие целостности наиболее наглядно удается представить, как взаимосвязь свойств частей (элементов системы) и свойств целого (свойств системы), что проявляется в синергетическом эффекте,

очевидном влиянии свойств частей на свойства целого, а также в обратном воздействии: усилении, ослаблении, появлении, ликвидации свойств частей при их вхождении в систему [3].

В системе с иерархической организацией элементами располагаются на различных стратах связываются между собой набором связей, которые могут быть разделены на две базовые категории:

- иерархически упорядоченные связи, определяющие строгую подчиненность элементов в системе (системообразующие связи);
- связи, направленные противоположно системообразующим, приводящие к деструктивным последствиям, нарушению целостности системы.

Упорядочение семантической сети терминов, содержащихся в тексте, имеющем терминологическую связность, и построение единой иерархической структуры, отражающей сложный порядок отношений между терминами, позволяет решить проблему целостного представления ТИТС и сделать заключение о его систематизации.

Преобразование текста, имеющего терминологическую связность, в семантическую сеть является первым действием при решении указанной выше проблемы. Такая сеть должна иметь иерархическую организацию и являться однородной сетью с направленными связями.

При преобразовании текста, имеющего терминологическую связность, в однородную семантическую сеть терминов важнейшее значение приобретает вопрос выбора базового элемента ТИТС.

Вывод о целесообразности использования в качестве такого базового элемента ТИТС определения понятия обосновывается следующими обстоятельствами:

- определение понятия имеет определенную логическую структуру;
- определения понятий могут иметь между собой определенные отношения подчинения и образовывать иерархическую структуру;
- определения понятий могут подвергаться интеграции (объединению) при формировании иерархической структуры текста, имеющего терминологическую связность.

Определение понятия формируется на основе выделения в его составе терминов двух разных категорий:

- терминов, определяемых другими терминами;
- терминов, определяющих другие термины.

В соответствии с принципом иерархичности связи терминами этих категорий являются ориентированными и однонаправленными.

Направленность связей определяется по логике вхождения одного понятия в другое т.е. от термина определяющего к термину определяемому.

Модель текста, имеющего терминологическую связность, может рассматриваться как совокупность определений понятий.

Процедура формирования сети текстов, имеющих терминологическую связность

Интеграция моделей определений сводится к объединению множества терминов из каждой модели определения в одно множество терминов текста, имеющего терминологическую связность.

В процессе объединения связей терминов из моделей определений получают матрицу взаимосвязей (смежности) терминов предметной области.

В результате осуществляется трансформация моделей определений в семантическую сеть текста, имеющего терминологическую связность.

Интеграция моделей определений заключается в совместном выполнении двух процессов:

- интеграции терминов моделей определений;
- интеграции связей между этими терминами.

Исходный текст, имеющий терминологическую связность, может быть представлен с использованием представленной методики как семантическая сеть терминов.

Заключение

Представленные общие подходы к оценке системности текстов, имеющих терминологическую связность были успешно применены на практике. В качестве объекта исследований использовался специально разработанный словарь юридических терминов.

Проведенные эксперименты позволили обнаружить противоречия в исследуемой терминологической системе и получить ряд количественных показателей, характеризующих ее противоречивость, целостность, неоднозначность.

Разработанная методика может быть применена в любой предметной области, где возникает необходимость систематизации терминологической базы.

Литература

1. Арзамасов Ю. Г., Певцова Е. А. Роль цифровизации в систематизации юридической терминологии // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Юриспруденция. 2022. № 4. С. 24–34. DOI: 10.18384/2310-6794-2022-4-24-34
2. Ващекин А.Н., Ващекина И.В. Об алгоритмизации анализа элементов цифрового пространства. В сборнике: Теоретические и прикладные аспекты формирования информационного и правового пространства в современном мире. материалы IV Международной Российско-Казахской научно-практической конференции. Краснодар, 2022. С. 64-65
3. Ловцов Д.А. Системный анализ. Часть 1. Теоретические основы. М.: РГУП, 2018. 224 с. ISBN 978-5-93916-701-7.
4. Павловский И.С. Автоматизация построения семантической сети на основе экспертной идентификации слов-терминов / Материалы 8-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2015, Ростов-на Дону). Ростов н/Д.: Издательство Южного федерального университета, 2015. Т. 1. С. 93-95.
5. Турагин В. Ю., Тонков Е. Е. Систематизация юридической терминологии в условиях осуществления региональной законотворческой деятельности: монография. — М.: Русайнс, 2021. — 183 с.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЧЕБНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Данилович Е.С., Путуридзе З.Ш.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет". Институт информационных технологий. Кафедра Вычислительной техники
+7(962) 987-55-45, puturidze@mirea.ru

Статья посвящена к проблеме повышения качества образования. Дается описание образовательного комплекса, состоящего из методики и специализированной автоматизированной системы обучения. Показано, как посредством реализованного образовательного комплекса удалось: гарантированно выполнить требования Федеральных общеобразовательных государственных стандартов, нормативных документов, контрольно-оценочных систем; повысить производительность труда преподавателей и студентов в три раза; обеспечить минимальный гарантированный качественный уровень итогового образовательного продукта; выработать навык контрольно-оценочного умения; приучить студента к систематической работе; построить динамическую контрольно-оценочную систему. Реализованная балльно-рейтинговая система стимулирует студента к систематической работе без пропуска изучаемых тем. Итоговая оценка учитывает соблюдение графика выполнения задач, покрытия тем дисциплины, качества выполнения задания.

Ключевые слова: автоматизированные системы обучения; учебно-технологическая система; балльно-рейтинговая система; программные инструменты; качество образования; повышение производительности; стандарты образования.

Improving the quality of education using an educational and technological automated system for technical disciplines. Danilovich E.S., Puturidze Z.S. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "MIREA-Russian Technological University". Institute of Information Technology Department of Computer Engineering.

The article is devoted to the problem of improving the quality of education. The description of an educational complex consisting of a methodology and a specialized automated learning system is given. It is shown how, through the implemented educational complex, it was possible: to guarantee compliance with the requirements of Federal general education state standards, regulatory documents, control and evaluation systems; to increase the productivity of teachers and students three times; to ensure a minimum guaranteed quality level of the final educational product; to develop the skill of control and evaluation skills; to accustom the student to systematic work; to build a dynamic control and evaluation system. The implemented point-rating system encourages the student to work systematically without skipping the topics being studied. The final assessment takes into account compliance with the schedule for completing tasks, covering discipline topics, and the quality of the task.

Keywords: automated learning systems; educational and technological system; point-rating system; software tools; quality of education; productivity improvement; education standards.

Ведение

Повышение качества образования, это постоянная сопутствующая задача для любого развитого государства и образовательных учреждений. Для достижения высоких показателей разработано множество Федеральных общеобразовательных государственных стандартов (ФГОС), нормативных документов, контрольно-оценочных систем. Для устойчивого закрепления навыка в технических высших учебных заведениях (ВУЗ) внедряется практико-ориентированное образование. Для повышения эффективности работы почти везде используются разнотипные автоматизированные системы обучения (АСО).

Широко распространены такие системы, как Moodle, Scolera, Blackboard Learn, Google Classroom, Open edX LMS, TalentLMS, Docebo, LearnUpon LMS, Mindflash, Coursera и другие. Первоначально они, в основном, были разработаны для нужд бизнеса и потом были адаптированы для образовательных учреждений. Основной функционал таких систем – создание учебно-справочной информации, формирование расписания занятий, сбор статистической информации, создание опросных тестов, проведение контроля знаний на базе тестов [1,2]. Такой состав основного функционала не подходит для преподавания технических дисциплин, особенно в части предоставления студенту специализированных программных инструментов для выполнения заданий и автоматизации поэтапного контроля их выполнения. Добавление нового функционала в этих системах затруднительно или связано с большими финансовыми затратами.

Требование повышения качества образования и отсутствие таких АСО, которые бы содержали необходимый функционал, вынуждает ВУЗ разрабатывать собственные методики и специфические автоматизированные системы обучения.

В статье излагается реализация, выполненная авторами для решения задачи повышения качества образования при преподавании технических дисциплин.

Комплексная методика и специализированная АСО

Учебная деятельность в высшей школе, это непрерывный, многофакторный, ответственный, строго регламентированный по времени, нацеленный на высокие стандарты образования, большой долей субъективный и вариативный процесс. При этом, необходимо так организовать учебный процесс чтобы достигнуть высшей степени унификации: преподавания; соблюдения множества нормативных и иных требований; объективного контроля, анализа и оценки знаний студента. Исходя из анализа результатов выработать такие дидактические решения, чтобы способствовать повышению уровня образования для максимального количества студентов.

Исходя из сказанного надо отметить, решение вопроса повышения качества образования должен иметь комплексный характер и охватывать разные аспекты организации и ведения учебного процесса. Поэтому, актуальной является задача, для достижения максимального эффекта, относительно предлагаемого решения изначально выработать определенные правила, требования и выделить основные элементы. При этом, предлагаемое решение должно иметь перспективу развития и возможность адаптироваться к новым возникающим условиям.

Каждая техническая дисциплина относится к определенной предметной области. Одной из основных целей преподавания технической дисциплины является: научить студента ставить, анализировать и решать задачи, возникающие в рамках данной предметной области. Этот элемент и был взят в качестве отправной точки. Навык решения задачи формируется при проведении практического занятия, выполнения курсовой или самостоятельной работы.

Посмотрим на этот элемент с точки зрения ФГОС и нормативных документов. Для соблюдения требований стандарта в рамках вуза разрабатывается и внедряется множество нормативных документов (в том числе в рамках СМК), учебных программ, организационных процессов. Приведем иерархическую схему формирования внутренних нормативных документов вуза исходя из ФГОС и вид учебного занятия, в котором в наибольшей степени концентрируется их применение и необходимость соблюдения отмеченных в этих документах требований.

Закрепление теоретического материала, умения использования необходимых методов, выработки навыка владения процедурой, инструментами решения задач в рамках дисциплины происходит на практических занятиях и при самостоятельной работе студента. Оценкой качества решения задачи объективно подтверждается степень освоения пройденного материала и навыка применения этих знаний на практике.

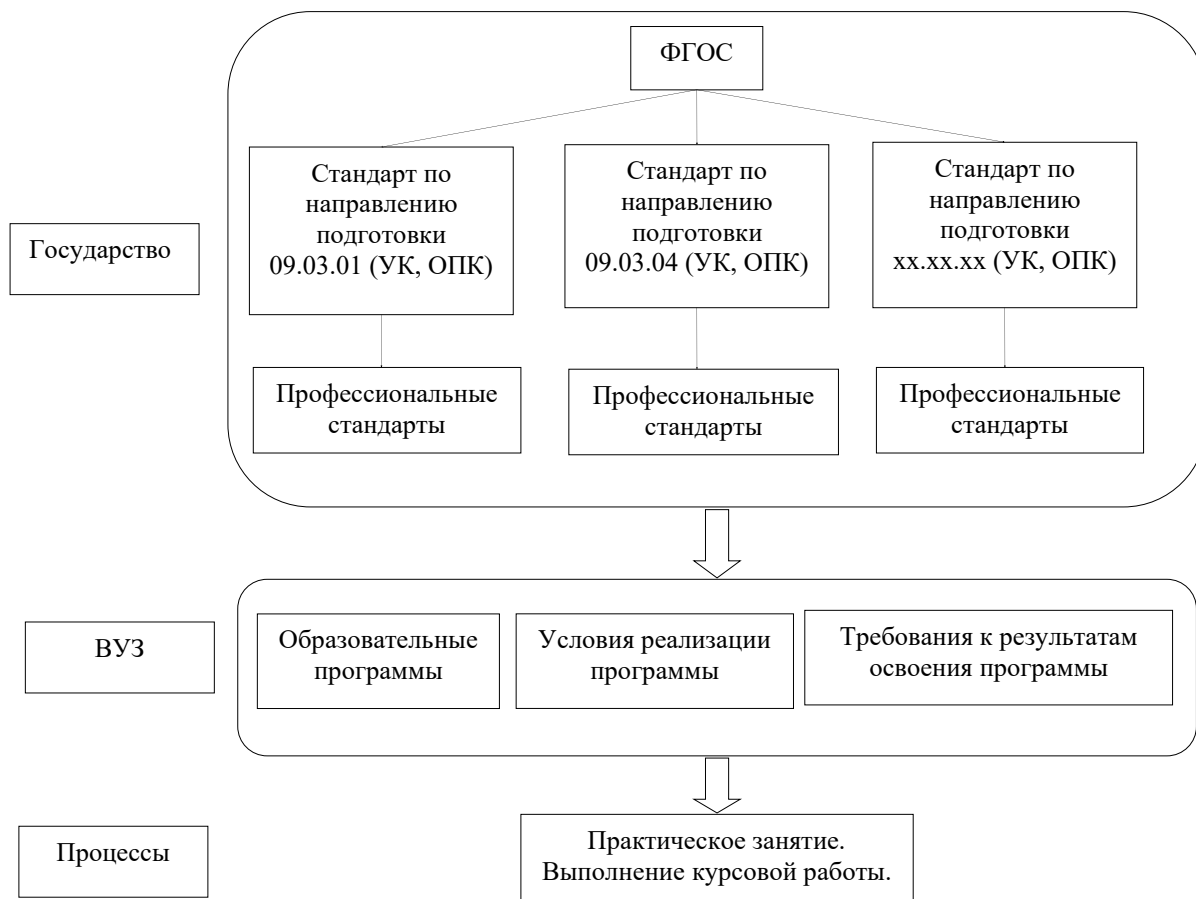


Рисунок 11 – Иерархическая схема нормативных документов и базовых процессов

Для оценки качества образования вузах разрабатываются и внедряются контрольно-оценочные системы (КОС). В рамках КОС создается фонд оценочных средств (ФОС), балльно-рейтинговая система, тесты. Проводятся промежуточные контрольные мероприятия в течении семестра, в виде тестирования, решения контрольных задач, коллоквиумов. Но у такой организации функционирования КОС есть существенный недостаток, эти мероприятия имеют дискретный (фрагментарный) характер, трудно определить, что именно студент не знает, выявление отсутствия знания опаздывает по времени и не всегда удается качественно исправить положение.

Важной составной частью КОС является контрольно-оценочное умение — это когда у студента вырабатывается навык своевременно обнаружить и оценить положительные и отрицательные результаты своей деятельности с перспективой дальнейшего её улучшения. Такой навык должен вырабатываться непрерывно в процессе обучения. Фрагментарный характер контрольных мероприятий не способствует этому.

Проблема повышения качества КОС тоже является актуальной задачей.

Приведем краткое описание образовательного комплекса, состоящего из методики и специализированной АСО, которое было предложено, реализовано, внедрено и эксплуатируется. Также покажем, в какой степени и как данный образовательный комплекс решает задачу повышения качества образования. Образовательный комплекс реализован для дисциплины объектно-ориентированного программирования (ООП) на алгоритмическом языке C++.

В основу разработки положен принцип – автоматизировать существующий процесс. При этом реализовать взаимно однозначное отображение реального процесса в виртуальный. Для построения целостной, замкнутой системы, в обязательном порядке в рамках образовательного комплекса охватить проведение практического занятия и выполнение самостоятельной работы студентом (курсовой работы).

Образовательная деятельность по функциональному назначению разбита на процессы. В состав образовательного комплекса в качестве основных были включены процесс: работы методиста, подготовки методических материалов, задач; процесс работы преподавателя практики, проведения практического занятия, проверки результатов работ студентов; процесс решения задачи студентом. Для каждого

отмеченного процесса в рамках АСО реализован полный состав программных инструментов. Посредством данного набора инструментов можно выполнить все работы в реализуемые в рамках каждого процесса. Другими словами, посредством АСО выполняются все работы без параллельных процессов [3,4,5].

Инструменты реализации процесса решения задачи построены и организованы в виде учебно-технологической автоматизированной системы (УТАС) для производства программного продукта, который является образовательным продуктом. Согласно ГОСТ ЕСПД и методическим документам, решение задачи по ООП выполняется по этапам, с соблюдением их последовательности следования. Для выполнения работ в рамках каждого этапа разработан специализированный программный инструмент. Эти инструменты выстроены в технологический ряд, согласно правилам следования этапов решения задачи по ООП. Для повышения производительности труда и уменьшения рутинных операций, при переходе между этапами используются генераторы. Например, из описания метода генерируется состав алгоритмов. Из описания алгоритма взаимно однозначно генерируется блок-схема алгоритма. Генерируется итоговый отчет программного продукта. Данная учебно-технологическая линия взаимодействует серверной частью АСО и с автоматизированным рабочим местом (АРМ) преподавателя. В рамках АРМ преподавателя реализован процесс проведения практического задания и проверки студенческих работ. Схема построенной комплексной учебно-технологической линии приведена на Рис. 2.

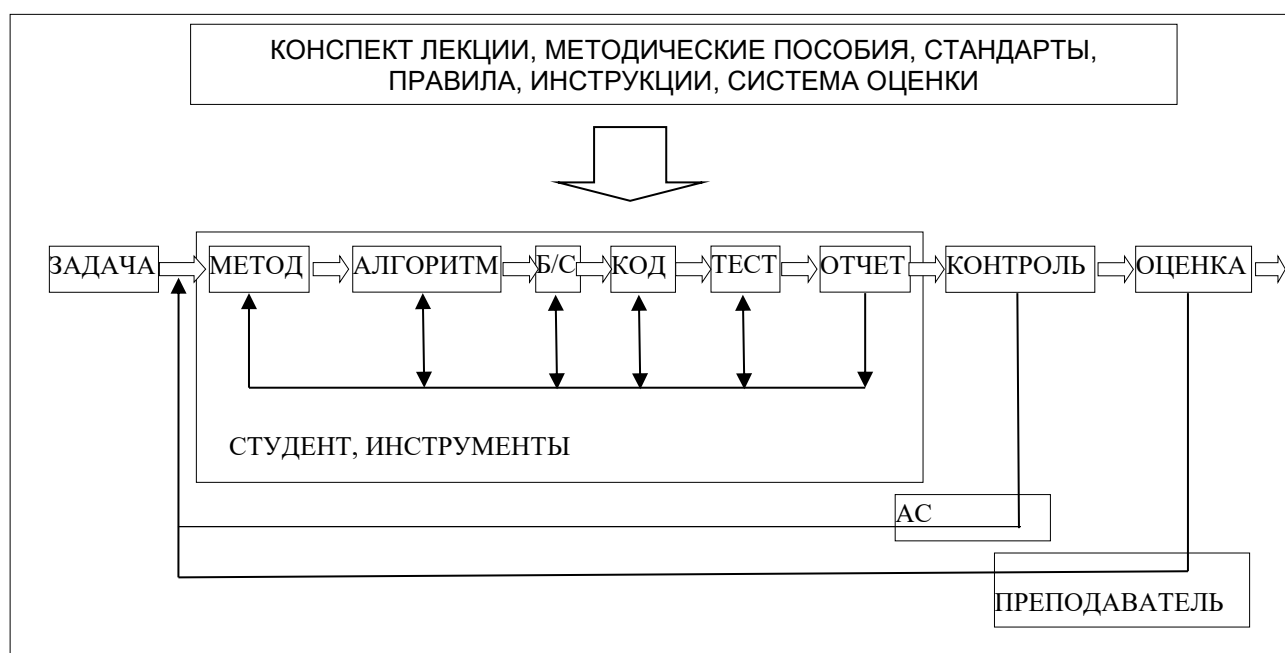


Рисунок 12 – Технологическая линия решения задачи по ООП

УТАС внедрена в Институте информационных технологий РТУ МИРЭА и уже шестой учебный год находится в эксплуатации. Достигнуты следующие результаты:

- реализованы дисциплины курсов: «Процедурное программирование на алгоритмическом языке С»; «Объектно-ориентированное программирование на алгоритмическом языке С++»; «Архитектура вычислительных машин и систем»;
- обучение прошли порядка 9000 студентов;
- система эксплуатируется в режиме 24/7;
- режимы очного и удаленного проведения практических занятий отличаются только географией расположения преподавателя и студентов;
- практически решена задача обеспечения самостоятельной работы студента. Отсутствует команда копирования текста из вне в любой инструмент, ведется постоянный анализ текста (кода) на заимствование. Если заимствование обнаружено (при ручном или автоматизированном вводе чужого решения), то это фиксируется системой и соответствующая отметка видна студенту и преподавателю;
- достигнуто повышение производительности труда студента и преподавателя более чем в три раза;
- на каждом этапе решения задачи выполняется проверка всех формализованных контрольных показателей, что повысило качество выполняемых работ;

- обеспечена качественная и надежная автоматическая предварительная проверка всех заданий студентов на контрольных тестах;
- улучшились показатели посещаемости, чему в большой степени способствовало исключение (автоматизация) рутинных операций, эффективное общение с преподавателем;
- систематизированы отчетные материалы на электронном носителе;
- организовано и обеспечено выполнение необходимого объема заданий студентами-должниками;
- реализованная в рамках УТАС балльно-рейтинговая система стимулирует студента к систематической работе без пропуска изучаемых тем [6];
- отчетные документы студентов представлены в полном объеме и по форме соответствуют требованиям нормативов;
- в совокупности все контрольные функции и генераторы обеспечили минимальный гарантированный качественный уровень итогового образовательного продукта.

Результаты повышения качества образования

Повышение производительности труда студента в три раза дала возможность увеличить количество решаемых задач. Это формирует устойчивый навык решения задач, закрепляет теоретические знания.

Реализация автоматического контроля всех формализованных показателей на каждом этапе решения задачи дает возможность свести решение каждой задачи к контрольной задаче. Другими словами, контрольные функции перенести в основной учебный процесс. Таким образом, фрагментарный характер контроля становится динамическим. Непонимание студентом определенных вопросов обнаруживается в момент появления. Это дает преподавателю возможность реагировать незамедлительно. Таким образом процесс контроля становится динамичным.

Автоматический контроль всех формализованных показателей на каждом этапе решения задачи заставляет студента в первую очередь самостоятельно искать решение. Это формирует навык контрольно-оценочного умения. Дает студенту возможность своевременно обнаружить и оценить положительные и отрицательные результаты своей деятельности с перспективой дальнейшего её улучшения.

Гарантированно обеспечивается соблюдение требований ФГОС и нормативных документов. Самое главное, обеспечивается самостоятельность работы студента. Это требование присутствует во всех общепрофессиональных компетенциях. Благодаря наличию технологической линии решения задачи, выполняется требование стандарта относительно соблюдения последовательности этапов решения задачи. Это несомненно повышает профессиональный уровень студента.

Автоматический контроль всех формализованных показателей на каждом этапе решения задачи обеспечивает минимальный гарантированный качественный уровень итогового отчета программного продукта, что для дисциплины ООП является образовательным продуктом.

Реализованная в рамках УТАС балльно-рейтинговая система является комплексной. Она стимулирует студента к систематической работе без пропуска изучаемых тем. Итоговая оценка учитывает соблюдение графика выполнения задачи (систематичность работы), покрытия тем дисциплины, качества выполнения задания.

Список использованных источников

1. МИРЭА - Российский технологический университет. Дистанционное обучение РТУ МИРЭА [Электронный ресурс] // URL: <https://www.online-edu.mirea.ru/> (дата обращения: 29.08.2024 и последующее периодическое ознакомление).
2. LSM Moodle [Электронный ресурс] // URL: <https://moodle.com>. (дата обращения: 29.08.2024 и последующее периодическое ознакомление).
3. Путуридзе З.Ш., Данилович Е.С., Кошкин Р.О., Хромов Д.Р., Кривошея М.С., Панкратов А.В. Система автоматизации организации и проведения практических занятий. Семнадцатая научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в управлении и образовании». Сборник научных трудов. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт «Восход», Москва, 19 апреля 2018 года.
4. Данилович Е.С., Кривошея М.С., Путуридзе З.Ш. Автоматизированная система управления преподавания дисциплины объектно-ориентированного программирования на алгоритмическом языке C++. Сборник трудов Национальной научно-практической конференции «Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты». 10–11 ноября 2022 года. Россия, г. Москва РТУ МИРЭА. Стр. 582-587.
5. Данилович Е.С., Кривошея М.С., Путуридзе З.Ш. Опыт эксплуатации автоматизированной учебно-технологической системы «Аврора» для дисциплины объектно-ориентированного программирования на алгоритмическом языке C++. Сборник трудов XX Международной научно-

практической конференции «Инновационные, информационные и телекоммуникационные технологии». 1–10 октября 2023 года. Россия, г. Махачкала. Стр. 83-87

6. Данилович Е.С., Кривошея М.С., Пугуридзе З.Ш. Балльная система оценки в рамках автоматизированного учебно-технологического комплекса. Вестник компьютерных и информационных технологий. Москва, № 7, июль, 2024г. Стр. 36-41.

ИНСТРУМЕНТЫ ОРГАНИЗАЦИИ КОММУНИКАЦИЙ В МАССОВОМ ЦИФРОВОМ ОБРАЗОВАНИИ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА «ЦИФРОВЫЕ КАФЕДРЫ»

Кравец А.Г., Струкова И.В.

Волгоградский государственный технический университет, пр.им.Ленина 28, Волгоград, Россия,
+7 (902) 363-91-86, allagkravets@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы обеспечения коммуникации между руководством, преподавателями и студентами в массовом цифровом образовании. Доклад фокусируется на обеспечении эффективного общения через различные каналы. Предложена разработка мобильного приложения для организации коммуникации. Дополнительные перспективы включают в себя внедрение расписания занятий и интеграцию с другими образовательными сервисами для повышения удобства использования мобильного приложения.

Ключевые слова: Цифровые кафедры, цифровое образование, Приоритет 2030, дополнительные образовательные программы, коммуникация в образовании, социальные сети, мобильное приложение.

Tools for organizing communications in mass digital education on the example of the project "Digital departments". Kravets A.G., Strukova I.V. Volgograd State Technical University

The article considers the issues of ensuring communication between management, teachers and students in mass digital education. The report focuses on ensuring effective communication through various channels. The development of a mobile application for organizing communication is proposed. Additional prospects include the introduction of a class schedule and integration with other educational services to improve the usability of the mobile application.

Keywords: Digital departments, digital education, Priority 2030, additional educational programs, communication in education, social networks, mobile application.

В настоящее время цифровые технологии играют все более важную роль в сфере образования [1]. Результаты исследований [2,3] подтверждают активное использование мобильных устройств студентами и, в рамках теории обучения в «мобильной эпохе», обосновывают важность гибкости и доступности образовательных ресурсов.

В рамках программы «Приоритет 2030» Волгоградский государственный технический университет принимает участие в реализации программ дополнительной профессиональной переподготовки «Цифровые кафедры». Проект «Цифровые кафедры» [4] нацелен на массовую подготовку квалифицированных специалистов, способных работать в современных отраслях промышленности и решать сложные задачи, связанные с разработкой и применением цифровых инструментов. Задачи проекта «Цифровой кафедры» состоят в создании, развитии и совершенствовании образовательных программ в области информационных технологий (ИТ), что оказывает определяющее влияние на научно-технологическое и социально-экономическое состояние России. Проект "Цифровые кафедры" Волгоградского государственного технического университета в рамках инициативы "Приоритет 2030" активно интегрирует цифровые технологии, предоставляя студентам доступ к современным образовательным ресурсам. Смешанный формат обучения, включающий обзор последних цифровых трендов, расширяет доступность образования и обеспечивает гибкость в освоении материалов через электронные ресурсы и виртуальные практические задания.

Студенты, обучающиеся на цифровой кафедре, получают знания и практические навыки в области цифровых технологий, а также имеют возможность участвовать в научно-исследовательской работе и проектах, связанных с цифровыми инновациями. Кроме того, ВолгГТУ сотрудничает с ведущими компаниями и организациями, что позволяет студентам получать опыт работы в реальных проектах и устанавливать контакты с работодателями.

В существующей коммуникации (рис.1) цифровой кафедры могут возникать проблемы неэффективного обмена информацией между студентами и преподавателями в сторонних мессенджерах, а также неудобного получения расписания занятий из Excel-таблиц. Студентам может быть затруднительно задавать вопросы, получать обратную связь и быть в курсе актуальной информации. Также они могут испытывать сложности с ориентацией в таблице расписания и отслеживанием изменений.

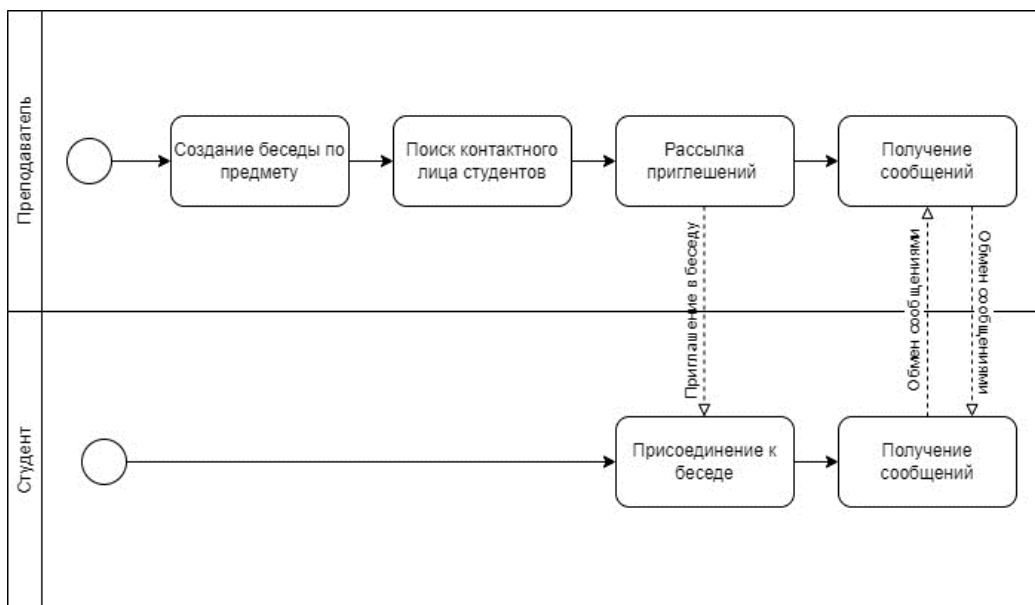


Рисунок 1 – Существующий процесс коммуникации

Разработка мобильного приложения для слушателей цифровой кафедры решает эти проблемы, обеспечивая удобный канал коммуникации и доступ к расписанию в более удобном формате. Это способствует улучшению обмена информацией, сокращению времени ожидания ответов и повышению эффективности образовательного процесса.

Студенты и преподаватели могут быть заинтересованы в эффективной коммуникации и обмене информацией относительно учебного процесса, вопросов и ответов, сдачи заданий и других академических вопросов. Также, доступ к актуальному расписанию поможет студентам быть в курсе предстоящих занятий, экзаменов и других важных событий на кафедре.

Автоматизация процесса создания беседы исключает «пропуск» участников: все студенты группы будут добавлены автоматически, вне зависимости от даты их регистрации (рис. 3).

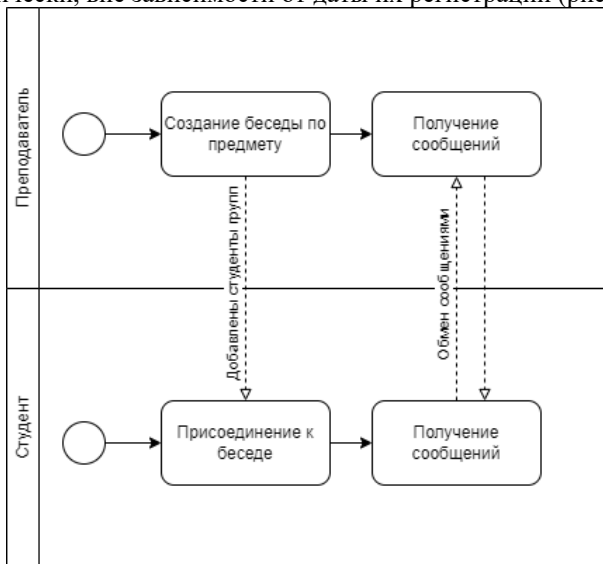


Рисунок 2 - BPMN модель процесса коммуникации студентов и преподавателей

Процесс коммуникации предъявляет определенные требования безопасности и конфиденциальности. Поскольку в приложении может происходить обмен конфиденциальной информацией между преподавателями и студентами, необходимо уделить особое внимание защите данных, чтобы предотвратить несанкционированный доступ и утечку информации.

Мобильное приложение должно быть совместимо с различными операционными системами, такими как Android и iOS, чтобы обеспечить широкий охват пользователей. Также необходимо обеспечить удобный и интуитивно понятный интерфейс, который позволит пользователям легко находить и использовать функциональные возможности приложения.

Приложение реализовано с помощью клиент-серверной архитектуры [5], эффективно распределяющей сетевую нагрузку приложения. Выбранная модель организации вычислительной системы разделяет задачи и обязанности между клиентом и серверной частью, что упрощает разработку и обслуживание приложения. Архитектура «клиент-сервер» обеспечивает масштабируемость приложения за счет добавления или изменения ресурсов сервера, что позволяет программе обрабатывать большие объемы данных и запросов. Взаимодействие между клиентом и сервером позволяет улучшить производительность приложения, например, за счет уменьшения объема передаваемых данных или выполнения вычислений на сервере (рис.3).

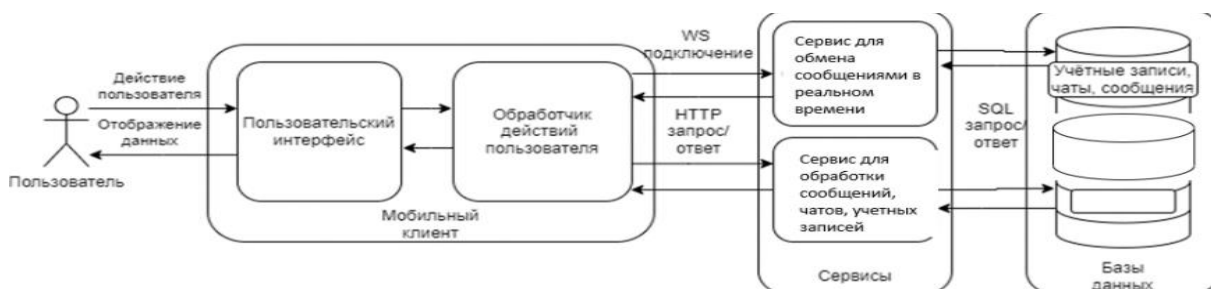


Рисунок 3 - Схема общей архитектуры приложения

Алгоритм работы обмена сообщениями с помощью веб-сокетов представлен на рисунке 4.

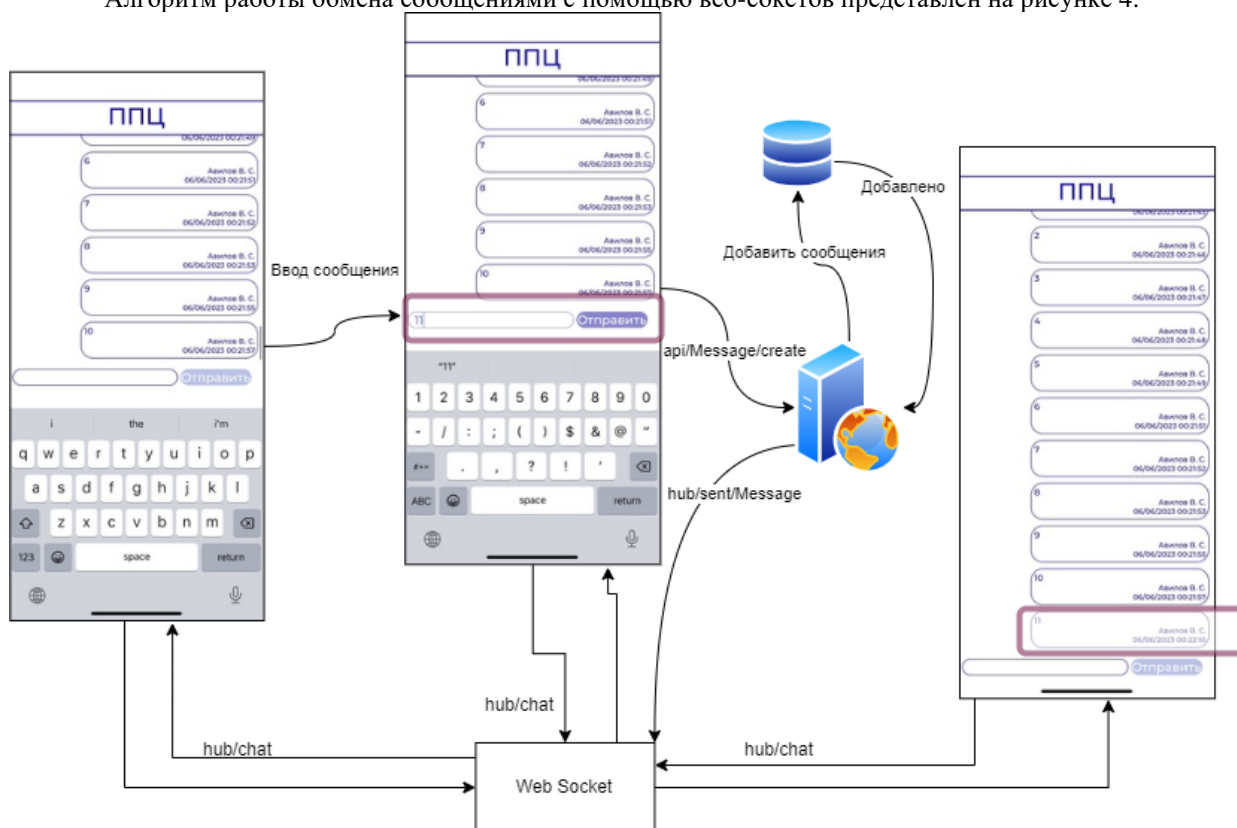


Рисунок 4 – Алгоритм отправки сообщений

В ходе выполнения проекта было разработано и реализовано мобильное приложение для слушателей Цифровой кафедры ВолГТУ, предназначенное для обеспечения эффективной коммуникации между преподавателями и студентами, а также предоставления актуальной информации о расписании.

Основная задача разработки заключалась в создании приложения, которое позволяет студентам получать информацию о расписании занятий в удобном формате и обеспечивает быструю и удобную коммуникацию с преподавателями. Мобильное приложение обладает интуитивно понятным интерфейсом [5], который позволяет студентам легко находить нужную информацию и взаимодействовать с преподавателями без лишних сложностей.

Литература

1. Катарасова, Г. Р. Использование компонентной модели в цифровой трансформации образовательного учреждения / Г. Р. Катарасова, А. Д. Сотников, Ю. С. Соломко // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : Сборник трудов XX Международной научно-практической конференции, Махачкала, 01–10 октября 2023 года. – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского, 2023. – С. 46-49.
2. Мамажонов, У.М. Цифровые технологии: их роль в образовательном процессе / У.М. Мамажонов // Проблемы современного образования. – 2022. – №5. – С. 209-217.
3. Лузгина, В.Б. Опыт использования мобильных технологий в образовательной среде вуза / В.С. Лузгина, Ж.А. Стаховская // Образовательные технологии и общество. – 2016. – № 3. – С. 463-472.
4. Цифровая кафедра ВолгГТУ // ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ: сайт. – URL: <https://www.ck34.ru/> (дата обращения: 01.09.2024)
5. Поцелуйко, А. С. Персонализация интерфейсов мобильных приложений на основе паттернов интерфейсов для людей с ограниченными возможностями / А. С. Поцелуйко, А. Г. Кравец, М. Б. Кульцова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – № 3(47). – С. 17-27.

ИНТЕГРАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГОЛОСОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СЛУЖБЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ ЦИФРОВИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ.

Орлов В.А.

Сургутский государственный университет
upsvadim@gmail.com

В работе исследуется роль искусственного интеллекта (ИИ) и систем голосового взаимодействия в трансформации служб технической поддержки. Анализируются последние достижения в области распознавания и синтеза речи, их применение для создания эффективных голосовых помощников и чат-ботов. Особое внимание уделяется методам обучения систем распознавания речи и их способности адаптироваться к различным языкам и акцентам. Приводятся практические примеры использования этих технологий в разных сферах, включая обслуживание клиентов, автоматизацию процессов и улучшение пользовательского опыта. В работе подчеркивается, как инновации в области ИИ и голосовых технологий открывают новые возможности для повышения эффективности и качества обслуживания в службах технической поддержки.

Ключевые слова: искусственный интеллект, распознавание речи, синтез речи, чат-боты, голосовые помощники, техническая поддержка.

Integration of artificial intelligence and voice technology into technical support services in enterprises with a high degree of digitization of business processes. Orlov V.A., BU VO Surgu.

The paper explores the role of artificial intelligence (AI) and voice technologies in transforming technical support services. It analyzes the latest advancements in speech recognition and synthesis, their application in creating efficient voice assistants and chatbots. Special attention is given to the training methods of speech recognition systems and their ability to adapt to different languages and accents. Practical examples of the use of these technologies in various fields are provided, including customer service, process automation, and improving user experience. The paper emphasizes how innovations in AI and voice technologies are opening new opportunities to enhance the efficiency and quality of service in technical support departments.

Keywords: artificial intelligence, speech recognition, speech synthesis, chatbots, voice assistants, technical support.

Введение

В условиях стремительного развития и внедрения информационных технологий в различные бизнес-процессы на крупных предприятиях, актуальность применения ИИ и голосовых технологий в сфере технической поддержки значительно возрастает. Настоящее исследование направлено на изучение потенциала интеграции ИИ и голосовых помощников в системы технической поддержки пользователей, что существенно повышает их эффективность. Целью данной работы является обзор современного состояния применения систем голосового взаимодействия и машинного обучения в области обслуживания клиентов, а также разработка предложений по их оптимизации и внедрению.

Обзор литературы показывает, что несмотря на значительный прогресс в области ИИ и голосовых технологий, существуют нерешенные вопросы, связанные с точностью распознавания речи, адаптацией к разнообразным языковым моделям и интеграцией в существующие системы обслуживания.

В работе сравниваются различные научные позиции и предлагается комплексный подход к решению выявленных проблем, способствующий более глубокому пониманию потенциала ИИ и голосовых технологий в современной технической поддержке.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) оценить текущий уровень развития технологий распознавания и синтеза речи;
- 2) рассмотреть примеры успешного применения голосовых помощников и чат-ботов в различных бизнес-процессах;
- 3) выявить основные проблемы и ограничения, связанные с использованием голосовых помощников;
- 4) сформулировать выводы и предложения по их оптимизации и внедрению.

В качестве материалов исследования использовались научные статьи, исследования, посвященные применению искусственного интеллекта и систем голосового взаимодействия в службах технической поддержки.

Технологии распознавания и синтеза речи достигли значительного прогресса за последние годы. Современные системы могут не только распознавать речь на различных языках и акцентах, но и осуществлять её синтез, который звучит естественно и плавно. Прогресс в области искусственного интеллекта и машинного обучения, включая развитие нейронных сетей глубокого обучения, существенно улучшил качество и доступность этих технологий. В результате они стали интегрироваться во множество приложений и сервисов, от виртуальных ассистентов и чат-ботов до систем автоматического диктования и аудиокниг (рис. 1).

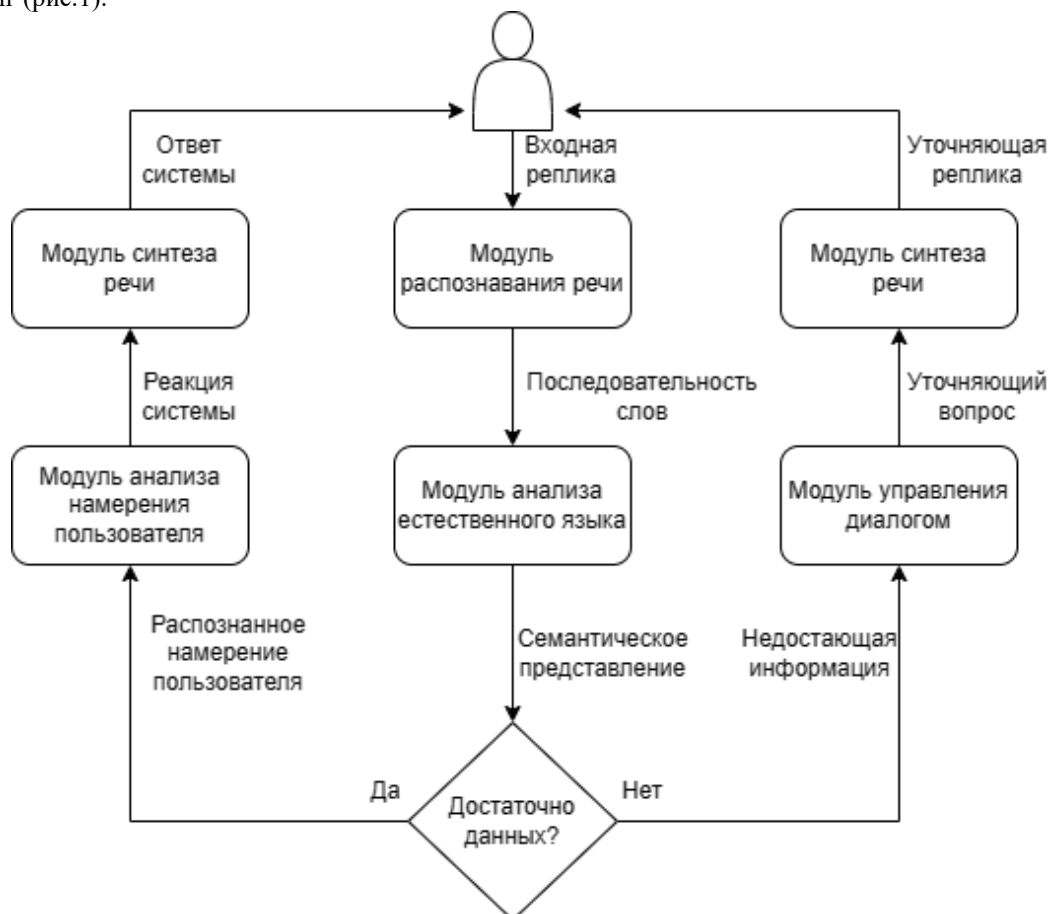


Рис. 1. Архитектура современного диалогового агента

Примеры успешного применения голосовых помощников и чат-ботов демонстрируют их гибкость и способность трансформироваться под различные отрасли и бизнес-процессы. В настоящее время данные технологии применяются в крупнейших компаниях, таких как Сбербанк, Озон, МТС, Яндекс. Эти

компании достигли значительного улучшения качества обслуживания, увеличения эффективности и создания новых удобных сервисов для клиентов за счет внедрения данных технологий.

Основными проблемами и ограничениями, при использовании голосовых помощников в различных сферах деятельности являются:

1. Проблема с пониманием контекста и нюансов языка. Несмотря на прогресс, голосовые помощники не всегда могут корректно распознать и понять сложный контекст, иронию или неоднозначные запросы.
2. Приватность и безопасность данных. Большая обеспокоенность вызывается вопросами защиты личных данных, поскольку голосовые помощники могут собирать и хранить аудиозаписи разговоров.
3. Трудности с распознаванием речи с акцентами и диалектами. Хотя качество распознавания речи значительно улучшилось, системы все еще испытывают трудности с распознаванием различных акцентов и диалектов.
4. Зависимость от интернет-соединения. Большинство голосовых помощников требуют стабильного интернет-соединения для обработки запросов, что может ограничивать их использование в условиях плохой связи.

Голосовые помощники, благодаря достижениям в области искусственного интеллекта и машинного обучения, представляют собой мощный инструмент для оптимизации служб технической поддержки, способствуя улучшению качества обслуживания и эффективности работы. Однако, несмотря на их возможности, существуют проблемы, такие как сложности с пониманием контекста, обеспечение приватности данных, распознавание различных акцентов и диалектов, а также зависимость от качества интернет-соединения. Эти ограничения требуют внимания при внедрении и использовании систем голосового взаимодействия в области технической поддержки.

Для успешного внедрения и оптимизации использования голосовых помощников в службах технической поддержки необходимо сосредоточиться на улучшении их способности понимать разнообразные языковые контексты и акценты, обеспечивать высокий уровень защиты личных данных пользователей и минимизировать зависимость от интернет-соединения. Реализация этих мер повысит качество обслуживания пользователей и эффективность работы служб поддержки, способствуя лучшему взаимодействию между ними и укреплению их доверия к предлагаемым услугам.

Результаты

Таким образом интеграция искусственного интеллекта и систем голосового взаимодействия в системы технической поддержки крупных предприятий способствует существенному повышению эффективности работы данных служб. Несмотря на существующие проблемы, такие как трудности с пониманием контекста, распознавание акцентов и диалектов, внедрение современных голосовых помощников может значительно улучшить качество и доступность технической поддержки для пользователей информационных систем.

В ходе анализа текущих разработок в области технологий распознавания и синтеза речи, а также применения голосовых помощников в бизнес-процессах ведущих компаний, выдвинуты предложения по оптимизации использования голосовых помощников, включая разработку алгоритмов для улучшения понимания языковых нюансов и контекста, принятие мер по усилению защиты личных данных пользователей, а также снижение требований к стабильности интернет-соединения.

Голосовой помощник позволяет параллельно обрабатывать большое количество входящих сообщений без участия технического специалиста. Поэтому предполагается, что интеграция голосовых технологий и ИИ в существующую инфраструктуру цифровых технологий, может не только повысить эффективность работы служб технической поддержки, но и существенно улучшить пользовательский опыт за счет более быстрого и точного реагирования на запросы клиентов.

Заключение

На основании данной работы можно сделать вывод, что применение систем голосового взаимодействия и ИИ для оптимизации работы служб технической поддержки, имеет огромный потенциал. С внедрением голосовых помощников в этой сфере можно существенно разгрузить работу технических специалистов, освобождая время для выполнения более трудоемких задач.

Литература

1. Первушин Е. А. Обзор основных методов распознавания дикторов //Математические структуры и моделирование. – 2011. – №. 3 (24).
2. Sundermeyer M., Schlüter R., Ney H. LSTM Neural Networks for Language Modeling //Interspeech. – 2012. – С. 194-197.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ, ПОИСКОВЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

Надеждин Е.Н., Глазырин И.А., Глущенко В.Е. ПРИНЦИП КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА В СИСТЕМЕ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ БПЛА	8
Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А., Бадеев В.А., Васильев Ю.А., Оленская А.В., Аюпова Ф.С. ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ВЫХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ	11
Бейлекчи Д.В., Кирилин А.А. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ПОДАВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ПОМЕХ И ШУМОВ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ ГРОМКОГОВОРЯЩЕЙ СВЯЗИ.....	15
Гавриков А.П., Колпаков А.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИБЛИОТЕК РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ.....	19
Аминев Д.А., Бунина Л.В., Коротких А.В. ОПТОВОЛОКОННЫЙ ЭРБИЕВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМ КАБЕЛЬНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ	26
Ашарина И.В., Харьков В.П. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МНОГОКОМПЛЕКСНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ЕЕ ДЕГРАДАЦИИ.....	33
Бадеев В.А., Мурашкина Т.И., Дудоров Е.А. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА КАЧЕСТВА ЖИДКОСТЕЙ	40
Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Бадеев В.А., Кукушкин А.Н., Васильев Ю.А. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО МИКРОДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ.....	44
Барбасов Н.В., Гвоздарев Р.С. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ МОБИЛЬНЫХ РЛС	48
Барков М.Д., Волкова Л.Л. О ВЫДЕЛЕНИИ ИЗ ТЕКСТОВ ПРЕДПОСЫЛОК К СОБЫТИЯМ НА ПРИМЕРЕ СОБЫТИЯ УЛЫБКИ.....	53
Смагина И.А., Соколов А.В. БЛОГГИНГ КАК ФОРМА САМОВЫРАЖЕНИЯ И ОБЩЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ	57
Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А., Кукушкин А.Н., Плотникова Е.Ю., Васильев Ю.А. КРЕПЛЕНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УГЛА НАКЛОНА ПРИ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ПАТОЛОГИИ.....	60
Гнеушев В.А. МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ТЕСТИРОВАНИЕМ ПО В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КОМАНДАХ	64
Бугаенко А.П., Волкова Л.Л. О ПОДХОДАХ К ДЕТЕКЦИИ ЮМОРА В ТЕКСТАХ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ.....	71
Волкова Л.Л., Комаров Н.С. О ПОДХОДАХ К УЧЕТУ ТЕМПЕРАМЕНТА В ДИАЛОГОВЫХ ПРОГРАММАХ.....	76

Волкова Л.Л., Мальцева Д.Ю. О ПОПАДАНИИ ФОТОГРАФИЙ В КАДР ВИДЕОПОТОКА	81
Шахмаева А.Р., Казалиева Э. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В РАБОТЕ МОЩНОГО ТРАНЗИСТОРА	85
Кормановский М. В., Волкова Л. Л. О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ФОРМИРОВАНИЕМ ГРАФОВЫХ СТРУКТУР	88
Крутских А.В., Корнеева Е.И. ПРОТОТИП ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	91
Райхлин В.А. ЗАМЕЧАНИЯ ПО ЭКСПЕРТНО-АВТОМАТНОЙ ЗАЩИТЕ БПЛА В ОПАСНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	95
Сапсалева А.В., Богданов В.В., Куратов К.А., Савин Н.П. ЗАМКНУТЫЕ СИСТЕМЫ С МАГНИТНЫМИ МУФТАМИ	100
Сафонова И.Е. ПРОГРАММА РАСЧЕТА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	104
Белоногов В.Д. КОМБИНИРОВАННОЕ ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЙ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ.....	111
Старостин И.Е., Гавриленков С.И. ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРЫ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	116
Старостин И.Е. ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ОСНОВАННЫЙ НА БАЗЕ ДАННЫХ ПОДСИСТЕМ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ.....	121
Сотников А.Д., Катасонова Г.Р., Соломко Ю.С., Стригина Е.В. МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СРЕДАХ	128
Горшков П.С. НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗВЕДКИ В ИНТЕРЕСАХ ГУМАНИТАРНОГО РАЗМИНИРОВАНИЯ	131
Нечаева О.В, Балашова Е.С. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОЙ ПОРЫ В ЛИТОЙ ЗАГОТОВКЕ	135
Исмагилов Ф.Р., Вавилов В.Е., Охотников М.В. МУЛЬТИ ДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНТЕГРИРОВАННОГО АВИАЦИОННОГО ГЕНЕРАТОРА	138
Русакова З.Н. ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ПОИСКА РЕШАЮЩИХ ГРАФОВ В ЭКСПЕРТНЫХ ПРОДУКЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.	143
Чаругин В.В., Чаругин В.В., Чесалин А. Н. КОНСТРУКТОР МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ.....	146
Кравец А.Г., Егунов В.А., Шабаловский В.А.	

УСКОРЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА АРХИТЕКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ 151

Шамров М.И.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СЕГМЕНТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ 154

Долматов А.В, Фам Суан Хань, Во Т.Х., Увайсов Р.М.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ФАКТОРА СТАРЕНИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ РЕЗИСТОРА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ 159

Нгуен Дык Хай, Увайсов С.У, Черноверская В.В, Во Тхе Хай, Фам Суан Хань

МЕХАНИЗМЫ ГЕНЕРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ МЕТОДЕ ИМИТАЦИИ ОТЖИГА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТОВ В ЛИНЕЙНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМАХ 163

Во Т. Х., Нгуен Д. Х., Фам С. Х.

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В КОНСТРУКЦИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ..... 169

Харьков В. П., Халютин О. С, Исаев С. А.

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ В УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ПРОЦЕССАМИ 177

Элбакян Л.С., Запороцкова И.В., Чешева М.Ф.

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУДКАМИ 182

Шеденко В.В., Иванов И.А., Иванов В.С.

СИСТЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ 187

Богданова М.В., Богданова В.Г.

СТРАТЕГИЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ИННОВАЦИОННОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ 190

Борзин Р. Ю., Кравец А. Г.

КИБЕРФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕИНЖИНИРИНГУ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА ПРУДОВОГО ХОЗЯЙСТВА..... 194

Рогожников Е.Д., Кравец А.Г.

СЦЕНАРНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ..... 197

Саушев А. В., Широков Н. В.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ 201

Давидов А.О., Халютин С.П.

СТАНДАРТ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ 204

Шабанов Р.Р.

ДУБЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕДОСТОВЕРНЫХ ПОКАЗАНИЙ..... 210

ГЛАВА 2. АНТЕННЫ, СВЧ ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Килина Е.С., Измайлов А.А.

АНАЛИЗ И ВЫБОР АМЛИТУДНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ОШИБОК В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ И НЕИСПРАВНОСТЯХ ФАЗОВРАЩАЮЩИХ УСТРОЙСТВ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК.....	214
Гордиенко А.Н., Сериков В.В. О ПОЛУЧЕНИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О НЕКОТОРЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	221
Сучков А.В., Устинов А.В. АНТЕННА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ С КРУГОВОЙ АЗИМУТАЛЬНОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ	224
Раевский Г.П., Абдуллин Х.Х. КОНСТРУКЦИЯ КОММУНИКАЦИОННОГО ETHERNET-МОДУЛЯ МЕЗОНИННОГО ТИПА.....	229
Уткин М.В., Грачев Н.Н., Уткин Б.В., Андреева А.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ	233
Уткин М.В., Грачев Н.Н., Уткин Б.В., Андреева А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА CST MWS.....	237
Александрова С.С., Манин А.Н. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ШТРАФОВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ АНТЕННЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RUTNOM	242
Боловин С.А. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПЕЛЕНГАЦИИ ИСТОЧНИКОВ СИГНАЛА РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНЫМ МЕТОДОМ.....	247
Ушаков В. М, Иванов И. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ В ТЕСТОВЫХ УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ.....	252
Карпухин С.А. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ В ЧЕТЫРЕХСЕКЦИОННОЙ АНТЕННОЙ ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЕТКЕ С РАБОЧЕЙ ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ ОКТАВА	255
Конов К.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА ИНТЕГРИРОВАНИЯ С ВЫБОРОМ ПЕРЕМЕННОЙ ИНТЕГРИРОВАНИЯ НА КАЖДОМ ШАГЕ ДЛЯ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ДИАГРАММУ НАПРАВЛЕННОСТИ БОРТОВОЙ АНТЕННЫ	260
Макарушкин Г.Г. 3D ЧИСЛЕННОЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНОГО АНТЕННОГО ПОЛОТНА.....	266
Лощилов А.Г., Малютин Н.Д., Малютин Г.А., Арутюнян А.А., Чепко Т.А. ПОДАВЛЕНИЕ ПЕРЕОТРАЖЕНИЙ И ВНЕПОЛОСНЫХ КОЛЕБАНИЙ В МЕЖКАСКАДНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ НЕОТРАЖАЮЩИХ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ ЦЕПЕЙ СВЧ .	271
Зенин В.А., Аверин И.Б. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ АФАР.....	277
Ушаков В. М, Иванов И. А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И ТЕЛЕМЕТРИИ БОЛЬШОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ	283
Шалаева Т.А.	

ПРИМЕНЕНИЕ SiW ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УСТРОЙСТВ..... 288

Климов К.Н.
ЛАЗЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ БОРЬБЫ С БПЛА 293

Нгуен Д.А., Кашаев Р.С., Козелков О.В.
РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ КПМГ ДЛЯ ПЕРЕДАТЧИКА ПОРТАТИВНОГО ПМР РЕЛАКСОМЕТРА..... 299

Черенков В.И., Иванов В.С.
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОНТРОЛЯ СТИЛЯ ВОЖДЕНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ И МАШИНИСТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА 302

ГЛАВА 3. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ

Осипов А.Л.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 307

Разин А.В.
РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ОТЧЕТА НА СООТВЕТСТВИЕ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ..... 310

Богодистова Е.С.
СОПОСТАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА И МИКРОКОНТРОЛЛЕРА В ЛЕКЦИОННОМ КУРСЕ 315

Голицына И. Н.
ТРАНСФОРМАЦИЯ ПЕРСОНАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ СТУДЕНТОВ ИТ-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ..... 319

Ушкова Н.Н., Чесалин А.Н., Гродзенский С.Я.
О ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВАХ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ..... 324

Давтян А.Г., Шабалина О.А., Хайров А.В., Берестнева О.Г.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ ЦЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕТОК 327

Евдокимова Д.А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ 331

Алымов В.Н., Коробков Ю.Н., Плотников Е.В.
УПРОЩЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРИ ОБУЧЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ НОВОГО ТИПА ВОЗДУШНОГО СУДНА 335

Куркова М.С., Кубрин В.И.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ МОЩНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ВВЕРХ КА-ДИАПАЗОНА 341

Ларина Т.Б., Иродова А.И.
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В СРЕДЕ JAVA NETBEANS 345

Ловцов Д. А., Кунин Е. И.
КОМПЛЕКС ПРАВОВЫХ ПРОТОКОЛОВ ДЕЙСТВИЙ ПО ОХРАНЕ И ЗАЩИТЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ГЛОБАЛЬНЫХ ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ СЕТЯХ 349

Кравец А.Г., Любименко Д.А. НАГРУЗОЧНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ МЕЖСЕТЕВОГО ЭКРАНА ЗНАЧИМЫХ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ	355
Назаров Н.А., Толчеев В.О. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАУЧНОЙ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	359
Назаров Н.А., Шарифуллин М.Р., Толчеев В.О. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В НАУЧНЫХ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	364
Алымов В.Н., Коробков Ю.Н., Чернодаров А.В. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧАХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ	368
Потопнина К.А., Проскураков А.Ю. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И ПОИСКА В НИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ	373
Романенкова Д.Ф. ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВЕБ-ДОСТУПНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ НАРУШЕНИЙ ЗДОРОВЬЯ	377
Рунов К.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗМЕТКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОРПУСА ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕКСТОВ	382
Садькова Е.Р., Разумова О.В., Мерзлякова В.А. О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НА ПЛОСКОСТИ В ШКОЛЕ	386
Катасонова Г.Р. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРВИСОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СТУДЕНЧЕСКИХ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ПРОЕКТОВ	390
Юрчишина М.В., Бушмелева К.И. ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ «ОПТИМАЛЬНЫЙ УЧЕБНЫЙ ПЛАН»	393
Федосеев С.В., Павловский И.С. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СИСТЕМНОСТИ ТЕКСТОВ, ИМЕЮЩИХ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКУЮ СВЯЗНОСТЬ	397
Кравец А.Г., Струкова И.В. ИНСТРУМЕНТЫ ОРГАНИЗАЦИИ КОММУНИКАЦИЙ В МАССОВОМ ЦИФРОВОМ ОБРАЗОВАНИИ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА «ЦИФРОВЫЕ КАФЕДРЫ»	405
Орлов В.А. ИНТЕГРАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ГОЛОСОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СЛУЖБЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ ЦИФРОВИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ.	408

Электродвигатель-генератор
номинальной мощностью 30 кВт

Стартер-генератор
магнитоэлектрический
номинальной мощностью 40 кВА

**ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ
СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРЫ
УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
для БПЛА**

**НАУКА
СОФТ**

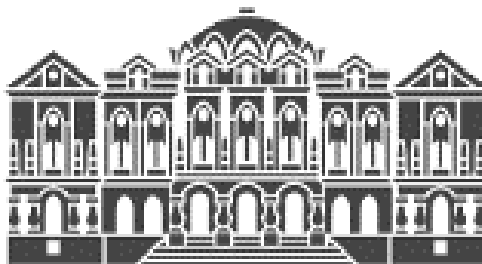
www.naukasoft.ru

Электродвигатель и
малогабаритный авиационный
стартер-генератор 0,6 кВА

Система генерирования
электроэнергии

Цифровое бортовое распределительное
устройство электроэнергии

ООО "НПО НаукаСофт"
г. Москва, улица Годовикова, 9, с. 3
+7 (495) 255-36-35
contacts@naukasoft.ru



По инициативе ветеранов Военно-воздушной инженерной академии имени профессора Н.Е.Жуковского создана некоммерческая организация – **Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н. Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА имени профессора Н. Е. Жуковского**, которая основана на членстве физических и юридических лиц, и преследующая социальные, культурные, научные и иные общественно-полезные цели.

Целями деятельности Ассоциации являются:

- Сохранение исторического наследия ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского.
- Представление и защита общих, в том числе профессиональных интересов своих членов.
- Содействие организации патриотического воспитания молодежи и благотворительная деятельность.

Основные задачи Ассоциации:

- Изучение и донесение до общественности истории ВВИА и ее подразделений, а также результатов деятельности научных школ ВВИА.
- Организация и поддержка на информационных ресурсах Ассоциации социальной сети для сотрудников и выпускников академии.
- Организация юбилеев ВВИА, её научных школ и выдающихся деятелей.
- Мониторинг современного состояния деятельности научных школ ВВИА и разработка мероприятий, направленных на повышение эффективности их деятельности.
- Выработка предложений по созданию перечня критических направлений в развитии авиационной науки и техники, позволяющих обеспечить конкурентоспособность российской авиационной техники.
- Проведение междисциплинарных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в интересах развития авиационной науки и промышленности РФ.
- Организация системы поддержки научных конференций с помощью информационных ресурсов Ассоциации.
- Организация и проведение юбилейных и тематических конференций и семинаров, издание тематических научных публикаций.
- Проведение молодёжных научных форумов в рамках деятельности научных школ ВВИА.
- Организация выступлений ветеранов ВВИА в школах, иных учебных заведениях среднего и высшего профессионального образования.
- Организация мероприятий по патриотическому воспитанию совместно с Советом ветеранов ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского и Домом-музеем Н. Е. Жуковского.
- Организация проведения конференций, симпозиумов, конгрессов, лекций, встреч по вопросам истории авиации, космонавтики и ВВИА.
- Создание и поддержка информационного ресурса в рамках деятельности Совета ветеранов ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского.
- Поддержка ветеранов ВВИА и их семей.
- Восстановление традиций ВВИА по оказанию шефской помощи Дому ребёнка № 5 (ул. Красноармейская, д. 1) и участие в других благотворительных акциях.
- Содействие и координация усилий членов Ассоциации по организации научно-педагогической деятельности выпускников и сотрудников ВВИА.

Предусмотрена работа периодического печатного (или на иных носителях) издания: газеты «Вперед и выше».

В рамках деятельности Ассоциации разработан и поддерживается информационный портал <http://nasledie-vvia.ru/>

Организована работа 3-х проектов:

- ежегодные Научные чтения по авиации, посвящённые памяти Н. Е. Жуковского;
- большая электронная энциклопедия ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского;
- научные школы ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского.

На портале Ассоциации размещается информация:

- о мероприятиях Ассоциации и Совета ветеранов ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского;
- новости Ассоциации и Совета Ветеранов;
- исторические очерки о ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского;
- информация о проектах Ассоциации.

Предлагаю выпускникам и сотрудникам Академии, неравнодушным к наследию ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, и желающим участвовать в общественной и научной деятельности Ассоциации, присоединиться к нам.

**С уважением,
Президент Ассоциации
генерал-лейтенант В.П.
Кутахов**

**Сборник трудов
XXI Международной научно-практической конференции**

Гл. ред. С.У.Увайсов
Отв. ред. И.А.Иванов

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка: Д.С.Панасик,
В.И.Черенков,
А.В. Долматов
Дизайн И.А.Иванов

Подписано в печать 01.10.2024.
Формат 60×84/8. Бумага «Pioneer»
Усл. печ. л. 30.88 Тираж 500 экз. Заказ 83

Подготовлено к изданию
Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского
г. Москва, 4-я, ул. 8 Марта, 6А.
nasledie-vvia.ru

Отпечатано в типографии НИУ ВШЭ
Москва, Кочновский проезд, 3
hse.ru