ИННОВАЦИОННЫЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сборник трудов
XX Международной научно-практической конференции



Посвящается 100-летию народного поэта Расула Гамзатова!

1 – 10 октября 2023 года
Россия, г. Махачкала

УДК 681.3 + 681.5
И 66

И 66 Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XX Международной научно-практической конференции. / под.ред. С.У.Увайсов – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2023, с.484.

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., Битюков В.К., Васильев А.Г., Витязев В.В., Голованова Н.Б., 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., 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-2023

НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ 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.



Энергетика и энергосберегающие технологии
Посвящена вопросам разработки новых видов источников энергии и их практического применения, использования альтернативных источников энергии в жизни и деятельности человека, повышения их эффективности.



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.



Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций
Рассматриваются экологические, технологические, экономические и информационные проблемы развития строительного материаловедения, возникающие при создании новых энергоэффективных строительных материалов, изделий, конструкций и технологий



Передовые медицинские технологии
Рассматриваются вопросы применения современных технологий в различных областях здравоохранения

Контакты оргкомитета:
E-mail: conf@diag.ru
www.diag.ru

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

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

ПРЕЗИДИУМ

Толстюк В.В., Постоянный представитель Республики Дагестан при Президенте РФ
Газимагомедов Р.К., доктор экономических наук, профессор, заместитель Председателя Правительства Республики Дагестан
Гамзатов Ю.В., министр цифрового развития Республики Дагестан
Бучаев Я.Г., министр образования и науки Республики Дагестан
Халилов Н.Р., министр промышленности и торговли Республики Дагестан
Саидов К.Р., министр по делам молодежи Республики Дагестан

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели

Кудж С.А., доктор технических наук, профессор, ректор РТУ МИРЭА
Баламирзоев Н.Л., кандидат экономических наук, доцент, ректор ДГТУ

Абрамов О.В., д.т.н., проф.	Владивосток, зав. отд. РАН Дальневосточное отд. ИАПУ
Айгистов А.А.	Москва, президент общенационального союза НКО
Алиев С.А., д.м.н., проф.	Махачкала, зав. каф. ДГМУ
Асваров Н.А., к.и.н., доцент	Махачкала, ректор ДГПУ
Бучаев А.Г., д.э.н., проф.	Махачкала, ректор ДГУНХ
Васильев А.Г., д.ф.-м.н. проф.	Москва, директор ИРИ РТУ МИРЭА
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
Зольников В.К., д.т.н., проф.	Воронеж, дир. института, ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова
Измаилов Г.М.	Ботлих, председатель РОП РД
Ирзаев Г.Х., к.т.н., доц.	Махачкала, проректор по научной и инновационной деятельности ДГТУ
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
Kuzaev G.A., D.Eng., Prof.	Nordheim, Prof. radio group of Norwegian Institute of Science and Technology
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
Османов Н.Ш.	Махачкала, глав. врач, Республиканский перинатальный центр им. Омарова С.-М.А.
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
Рабаданов М.Х., д.ф.-м.н. проф.	Махачкала, ректор ДГУ
Рагуткин А.В., к.т.н.	Москва, советник ректора РТУ МИРЭА

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
Ханалиев В.Ю., д.м.н., проф.	Махачкала, ректор ДГМУ
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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели

Увайсов С.У., доктор технический наук, профессор, зав. каф., РТУ МИРЭА
Халютин С.П., доктор технических наук, профессор, научный руководитель ООО «НПО НаукаСофт»
Юрков Н.К., доктор технический 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
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
Воробьев Г.А., д.ф.н., доц.	Пятигорск, директор института, ПГУ
Гаджиев А.А., к.б.н., доц.	Махачкала, проректор по научной и инновационной работе ДГУ
Гаджиев Н.Г., д.э.н., проф.	Махачкала, зав. каф., ДГУ
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
Дрейзин В.Э., д.т.н., проф.	Курск, Юго-западный государственный университет
Замуруев С.Н., д.т.н., доц.	Москва, зав. каф., РТУ МИРЭА
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, ТОП «ЛЭМЗ»
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 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, РТУ МИРЭА
Лавлинский В.В., д.т.н., проф.	Воронеж, ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова
Мухтаров П.Н., проф.	Махачкала, советник ректора ДГУ
Нурмагомедова Р.А.	Сочи, представитель оргкомитета ИНФО
Саенко В.С., д.т.н., проф.	Москва, начальник лаборатории, НИУ ВШЭ
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
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

Тулпаров С.Д.	Махачкала, директор Дагестанского гос. муз.-драм. театра им. А. Салаватова
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
Юсупова Г.М., PhD	Казахстан, Алматы, КазНИТУ им К.Сатпаева

КООРДИНАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Иванов В.С., РТУ МИРЭА
Панасик Д.С., РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

Соорганизаторы	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет»	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет»	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дагестанский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный университет»	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова»	
Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Дагестанский государственный университет народного хозяйства"	
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"	
Государственное бюджетное учреждение Республики Дагестан «Республиканский перинатальный центр им. Омарова С.-М.А.»	
Филиал АО АЗИМУТ в г. Махачкала	AZIMUT
Научно-производственное объединение «НаукаСофт»	НАУКА СОФТ
Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского	
Общенациональный союз некоммерческих организаций	ОБЩЕНАЦИОНАЛЬНЫЙ СОЮЗ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ

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»
Журнал «Правовая информатика»
Журнал «Приборы»
Журнал «Прикаспийский журнал управления и высокие технологии»
Журнал «Проблемы управления»
Журнал «Российский технологический журнал»
Журнал «САПР электроники»
Журнал «Стандарты и качество»
Журнал «Технологии ЭМС»

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ БОРИСА ВАСИЛЬЕВИЧА СЕСТРОРЕЦКОГО



6 августа 2023 г. исполнилось 100 лет со дня рождения крупного ученого в области СВЧ техники и прикладной электродинамики, доктора технических наук, профессора Бориса Васильевича Сестрорецкого.

Борис Васильевич родился в г. Ярцево Смоленской области.

В 1941 г. он окончил с отличием московскую школу № 255.

После окончания школы Б.В. Сестрорецкий пошел добровольцем в строительный отряд для создания оборонительных сооружений в районе Вязьмы и был награжден медалью за оборону Москвы. В 1942 г. Борис Васильевич поступил на физико-математический факультет Пермского государственного университета и, при этом, работал в ночную смену на оборонном заводе.

В 1943 г. Б.В. Сестрорецкий вернулся из эвакуации в Москву и продолжил обучение на радиотехническом факультете (РТФ) в Московском энергетическом институте (МЭИ). В дипломном проекте «Установка для измерения погонного затухания электромагнитных волн в воздухе для сантиметровых волн» Борис Васильевич предложил и реализовал принципиально новый метод возбуждения высокодобротных резонаторов с устранением паразитных колебаний.

После окончания с отличием МЭИ в 1948 г. Б.В. Сестрорецкий работал в Московском НИИ Приборостроения (МНИИП), где занимался освоением техники миллиметровых волн, разработкой и испытанием двухчастотных РЛС, газоразрядных защитных устройств миллиметрового диапазона, сумматоров мощных сигналов.

В 1956 г. Борис Васильевич защитил диссертацию «Синтез фильтров, сумматоров высокого уровня мощности» на соискание ученой степени кандидата технических наук. В этот период Б.В. Сестрорецкий проводил исследования по низкотемпературным эффектам в полупроводниках, по созданию малошумящих защитных и коммутационных устройств; изучал воздействие явления сверхпроводимости в СВЧ устройствах для стабилизации частоты малошумящих генераторов и фильтров. Борис Васильевич принимал участие в создании мощных высокостабильных генераторов Ганна (совместно с ФИ АН СССР), в разработке и внедрении в серийное производство резонансных *p–n* переключательных диодов и ограничителей, бескорпусных диодов сантиметрового и миллиметрового диапазонов, пассивных и активных фазовых антенных решеток. В 1963 г. вышла монография: Е.С. Кухаркин, Б.В. Сестрорецкий «Электрическая прочность волноводных устройств» (М.: Высш. шк.), в 1969 г. – монография: И.В. Мальский, Б.В. Сестрорецкий «СВЧ устройства на полупроводниковых диодах: проектирование и расчет» (М.: Сов. радио). В 1973 г. Борис Васильевич защитил диссертацию по теории

проектирования коммутационных полупроводниковых СВЧ устройств на соискание ученой степени доктора технических наук.

Много сил и времени Борис Васильевич отдал воспитанию молодого поколения исследователей. С 1965 г. по 2003 г. он преподавал на базовой кафедре Московского физико-технического института, а в 2003 г. организовал и возглавил отделение кафедры «Радиотелекоммуникационные устройства и системы» Московского института электроники и математики на НПО им. С.А. Лавочкина. Им подготовлено 4 учебных пособия и большое количество учебно-методических материалов. Б.В. Сестрорецкий подготовил 17 кандидатов наук, один из которых стал впоследствии доктором наук. С 1958 г. по 1985 г. Борис Васильевич был председателем секции межведомственного координационного совета по антенной технике. Он организовал и провел 12 Всесоюзных конференций и 3 семинара по машинному проектированию СВЧ устройств. Б.В. Сестрорецкий принимал участие в более чем 100 Всероссийских и Международных конференциях, где сделал более 300 докладов, является автором 4 патентов Российской Федерации и 40 авторских свидетельств на изобретения. За долголетнюю научно-практическую деятельность Борис Васильевич награжден медалью Гагарина, медалью С.А. Лавочкина и медалью ВДНХ.

21 год своей жизни (1996-2017 гг.) Б.В. Сестрорецкий посвятил работам по тематикам НПО им. С.А. Лавочкина, в том числе «Электро», «Спектр-Р», «Фрегат», «Фобос-грунт», «ТаблетСат-Аврора» и др.

Борис Васильевич входил в состав научно-технического и диссертационного советов НПО им. С.А. Лавочкина» и Московского института электроники и математики (МИЭМ), редакционную коллегию журнала «Вестник НПО им. С.А. Лавочкина», а также участвовал в работе аспирантур указанных предприятий и организовывал семинары для студентов, молодых учёных и инженеров. Борис Васильевич был сопредседателем секции “Антенны, устройства СВЧ, технологии и производство РЭС” нашей конференции. Отметим, что его последняя публикация была именно на нашей конференции.

Подготовленные и воспитанные Борисом Васильевичем научные кадры продолжают трудиться на НПО Вега, НПО Алмаз, НПО им. С.А. Лавочкина и на других предприятиях как нашей, так и других стран.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ

ИГРОВОЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ДЕПРЕССИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Хомутцов С.В., Кравец А.Г.
Волгоградский государственный технический университет
mazhavil@mail.ru, AllaGKravets@yandex.ru

Статья посвящена разработке способа диагностики депрессии с использованием в качестве инструмента анализа поведения видеоигру, разработанную на платформе Unity. Проводится анализ внутриигрового поведения пользователя по мере прохождения: чувство вины, тревоги или страха после поражения, проблемы с кратковременной и долговременной памятью, плохая концентрация внимания и неспособность принимать решения. Таким образом данный подход к диагностике позволит дистанционно идентифицировать возможное наличие депрессии и посоветовать пользователю обратиться к специалисту.
Ключевые слова: видеоигра, движок unity, психиатрическая диагностика, депрессия.

Gaming approach to the diagnosis of depression based on user behavior analysis. Khomuttsov S.V., Kravets A.G.

The article is devoted to the development of a method for diagnosing depression using a video game on Unity as a tool for analyzing behavior. An analysis is made of the user's in-game behavior as they progress: feelings of guilt, anxiety or fear after defeat, problems with short-term and long-term memory, poor concentration and inability to make decisions. Thus, this approach to diagnostics will allow remote identification of the possible presence of depression and advise the user to contact a specialist.
Keywords: video game, unity engine, psychiatric diagnosis, depression.

Введение

Депрессия является распространенным нарушением психического здоровья. По оценкам всемирной организации здравоохранения во всём мире от депрессии страдает 3.8% населения, это порядка 280 миллионов человек [1]. Основными признаками депрессии называют подавленное, тревожное и боязливое настроение, депрессия сопровождается снижением концентрации, ощущением усталости или упадка сил, неадекватным чувством вины и пессимизмом.

Во всех странах, независимо от уровня дохода, у людей, страдающих депрессией, зачастую она не диагностируется [1], но с развитием цифровых технологий появилась возможность отслеживать поведение пользователя и на основе собранной информации рекомендовать прохождение осмотра у специалиста или даже сразу диагностировать болезнь [2,3].

Сценарий взаимодействия

Для реализации такой видеоигры необходимо составить сценарий взаимодействия пользователя с окружающим миром, проработать набор геймплейных элементов для определения текущего состояния пользователя.

Для того чтобы предотвратить переутомление пользователя сценарий игры предполагает 30-минутное прохождение, игрок управляет своим персонажем для перемещения и изучает виртуальный мир для выполнения мини-игр [4]. Для начала мини-игры необходимо найти и войти в уникальное строение. После прохождения мини-игр пользователь опрашивается о своём состоянии – не переутомлён ли он, чувствует ли он себя тревожно или испытывает чувство страха. В каждой мини-игре присутствуют подсказки по прохождению и возможность пропустить прохождение мини-игры, если пользователь превышает количество попыток. Мини-игры представляют из себя простейшие по управлению последовательности действий, чаще всего завязанные на проверке кратковременной и долговременной памяти [5,6], реакции и внимательности. После прохождения всех мини-игр мира игроку предлагается найти на карте посещенные ранее уникальные локации мини-игр, тем самым проверяя возможность навигации по пространственной памяти в виртуальной реальности [7]. В каждом мире присутствует по 4 мини-игры, среднее время прохождения мини-игры – 4 минуты.

Во время прибывания в виртуальном мире игрок должен встречать персонажей, которые бы вели с игроком диалог – спрашивали бы о его ощущениях и настроении. После прохождения каждой мини-игры пользователь должен мотивироваться для дальнейшего прохождения – получать внутриигровые предметы для отслеживания своего прогресса. Прогресс игрока должен сохраняться после прохождения каждой мини-игры и после перехода в каждый новый мир. Игрок не должен иметь временных ограничений на прохождение мини-игры/мира и не испытывать на себе какое-либо давление.

Реализация

Для реализации видеоигры используется движок, это комплекс программ для обеспечения графической визуализации, звукового сопровождения, выполнения физической симуляции и обработки игровых скриптов. Основная задача игрового движка состоит в обеспечении мультиплатформенности, то есть корректного запуска игр на всех поддерживаемых платформах, и обработке инструкций скриптов (рис. 1).

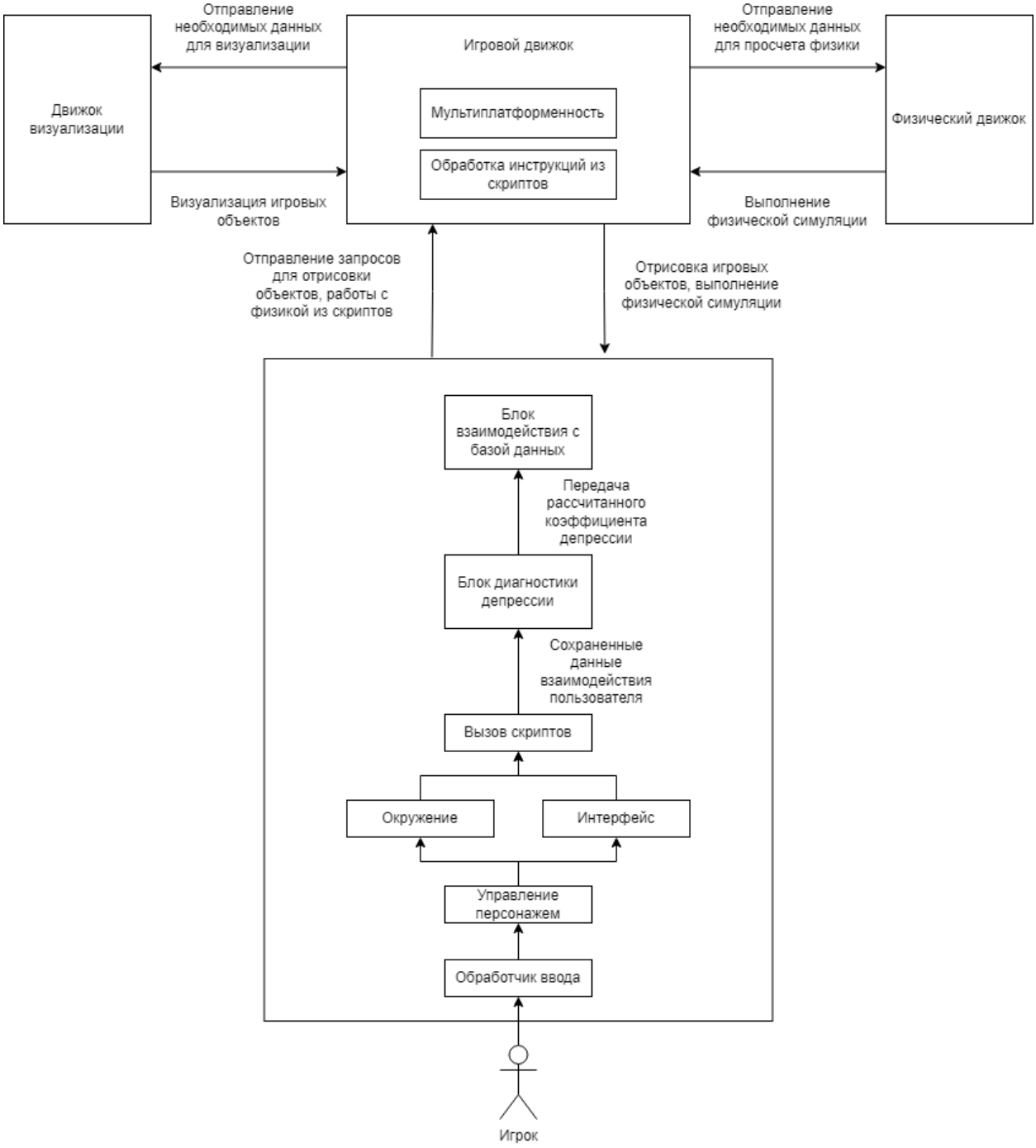


Рисунок 1 – Схема архитектуры разрабатываемой игры

Игровой движок также обеспечивает корректный ввод данных пользователем, обрабатываемых игрой в соответствии с инструкциями в скриптах. Через обработчик ввода игрок управляет персонажем и взаимодействует с элементами окружения и интерфейсом. Каждый игровой элемент управляется соответствующими скриптами, которые отправляют запросы к игровому движку для выполнения необходимых игре задач, например отрисовки объектов или работы с физикой.

В качестве игрового движка используется межплатформенная среда разработки Unity 2021.3.21f1. Она обладает визуальной средой разработки и межплатформенной поддержкой. Игра разрабатывается в качестве браузерного приложения (компиляция на платформе WebGL) с передачей данных через Firebase Realtime Database. Для взаимодействия с базой данных из Unity использовались пакеты Google LLC, прокладывающие дополнительные зависимости, позволяющие интегрировать пакеты Firebase Realtime Database, Firebase Authentication и Firebase App (Core). Для сохранения данных используются данные модели игрока, преобразовывающиеся с помощью JsonUtility и передающиеся в экземпляр базы данных. Для чтения используется Unity Coroutine и ассинхронный метод, преобразующий полученные данные в DataSnapshot. Для тестирования в игре реализован функционал отображения данных, который содержит класс PlayerStatistics (рис. 2).

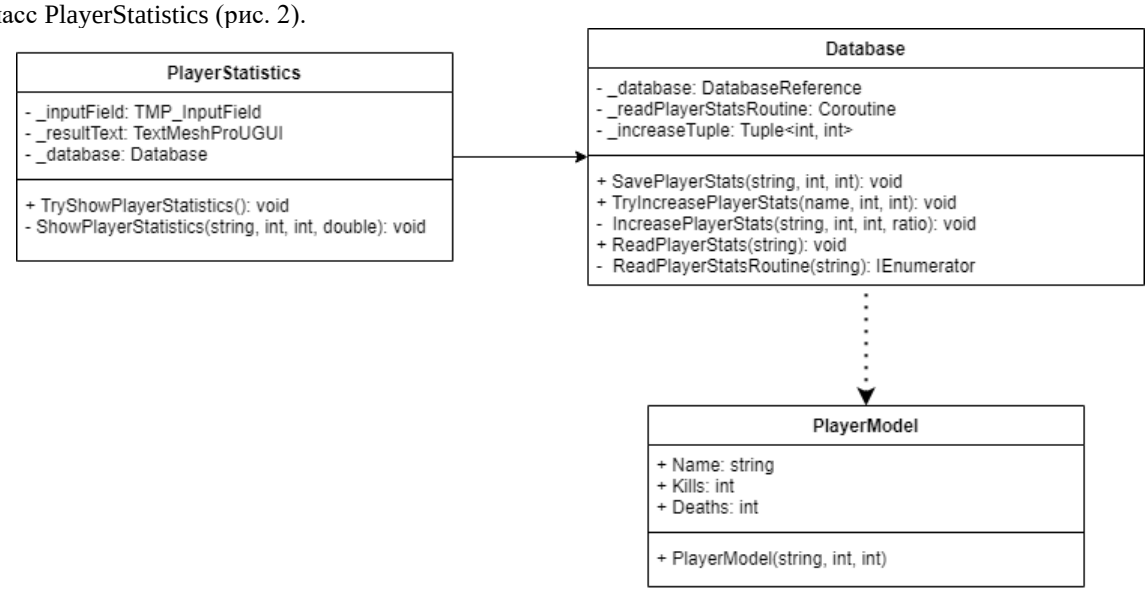


Рисунок 2 – Иерархия классов взаимодействия с Firebase Realtime Database

Для разработки графической составляющей игры используется универсальный конвейер рендеринга (URP, ранее LWRP) – готовый конвейер рендеринга Unity с поддержкой сценариев, снимающий ограничения постобработки стандартного конвейера рендеринга и позволяющий создавать оптимизированную графику для различных платформ, что особенно полезно при разработке браузерных игр, в которых делается серьезный упор на оптимизацию.

По возможности в игре реализуется двухмерная физическая модель, использующая компоненты Rigidbody2D для оптимизации, например, в мини-играх, где происходит взаимодействие с интерфейсом. Но в мире взаимодействие с персонажем происходит с использованием трехмерной физической модели.

Также во время разработки игры использовалось дополнительное программное обеспечение: библиотека ProBuilder для быстрого создания трёхмерных объектов и прототипирования, NavMesh – расширение стандартной библиотеки поиска пути.

Для реализация перемещения игрока в пространстве (рис.3) и создания не-игровых персонажей, перемещающихся по миру использовалась технология поиска пути NavMesh. Она позволяет создавать специальные поверхности для нахождения путей агентам, которые будут передвигаться по этой поверхности. Для корректного поиска пути на каждый элемент окружения накладываются компоненты модификаторов NavMesh, в них указывается тип зоны, покрываемой объектом, и агенты, на которых распространяются примененные модификации. Препятствиям также добавляется компонент NavMeshObstacle, чтобы агент мог корректно их обходить. Для обеспечения перемещения игрока используется 3 класса – Player, PlayerInput и PlayerMovement. Через класс PlayerInput игрок вызывает методы перемещения из класса Player, которые в свою очередь вызывают исполнение функций из класса PlayerMovement. Player является смежным классом, который проверяет возможность выполнения передвижения перед вызовом функции.

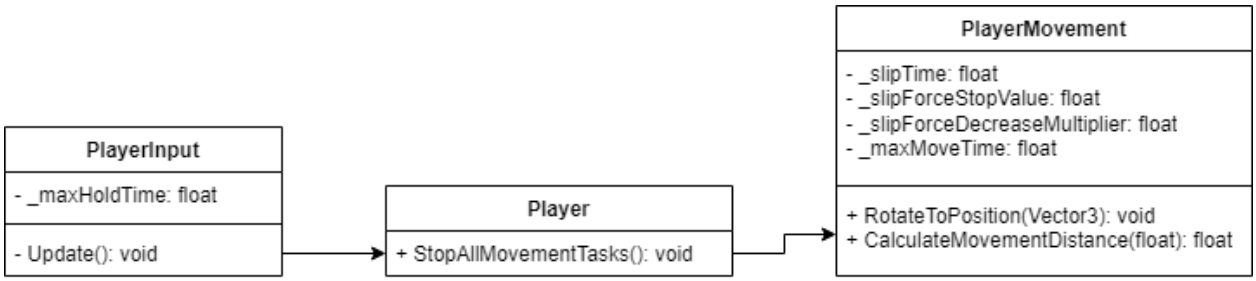


Рисунок 3 – Диаграмма классов передвижения игрока

В классе PlayerInput с помощью функции Update каждый кадр проверяются нажатия пользователя. Пока игрок удерживает кнопки перемещения – навигационный агент перемещает модель игрока в указанном направлении.

Для реализации диалогов в игре реализована диалоговая система, сохраняющая ответы игрока в PlayerPrefs.

Мини-игра перемещения по миру и поиска запоминающихся локаций реализована через расстановку чекпоинта возле каждого входа в мини-игру. После входа в чекпоинт – локация засчитывается как найденная.

Обработка и передача результатов

Собранные результаты об успешности прохождения мини-игр, ответах о самочувствии и настроении игрока после прохождения мини-игр и вопросов персонажей в мире, обрабатываются в отдельном классе и возвращаются в виде итогового коэффициента вероятности наличия депрессии у пользователя. Далее в Firebase Realtime Database указанному идентификатору пользователя присваивается рассчитанный коэффициент. После прохождения игры коэффициент считывается, и игроку рекомендуется посетить специалиста в случае высокого коэффициента.

Заключение

В заключении следует отметить, что этот способ диагностики депрессии на основе анализа поведения пользователя поможет дистанционно идентифицировать наличие заболевания, однако для более точной диагностики необходимо обращение к специалисту. В качестве возможных улучшений способа предлагается отслеживание поведения пользователя через камеру, однако это также является серьёзной угрозой для конфиденциальности пользователя.

Литература

1. Depressive disorder (depression) // World Health Organization. – 2023. – Режим доступа : https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/depression.
2. Кравец, А. Г. Программный модуль для психологической диагностики на основе анализа аудио-, видео- и текстовой информации / А. Г. Кравец, С. А. Регнер // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : Сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции, Сочи, 01–10 октября 2022 года / Под редакцией 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, 2022. – С. 87-90.
3. Кравец, А. Г. Самодиагностика депрессивного состояния на основе анализа эмоционально-окрашенной речи / А. Г. Кравец, В. А. Петраевский // Математические методы в технологиях и технике. – 2022. – № 12-1. – С. 55-58. – DOI 10.52348/2712-8873_MMTT_2022_12_55. – EDN MNJTWV.
4. Analysis of People's fascinations for Computer games / R. G. Klimenko, A. G. Kravets, I. V. Strukova, N. I. Tatarova // Information Innovative Technologies : International Scientific-Practical Conference, Prague, 25–29 апреля 2022 года. – Moscow: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2022. – P. 48-57.
5. Cheng, S. Virtual brain gives insights into memory deficits in depression / Cheng S., Fang J., Demic S. Institute for Neural Computation, 2018.
6. Woo, D. Depression and Memory Loss: Does Depression Cause Forgetfulness? / Woo, D Madison Avenue TMS & Psychiatry, 2021.
7. Neda, F. Performance on a Virtual Reality Spatial Memory Navigation Task in Depressed Patients / Neda F. Gould B.A.M. Kathleen Holmes B.S.Bryan 60th annual meeting of the Society of Biological Psychiatry, Atlanta, 2005. – 526 p.

О МЕРАХ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ УЧАЩИХСЯ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

Бечиев Ш.Ш.
Федеральный институт цифровой трансформации в сфере образования
sh.bechiev@ficto.ru

Статья посвящена исследованию мер педагогической поддержки старших школьников в ходе специально организованного в цифровой образовательной среде проекта «Я сдам ЕГЭ». Проект разработан и реализован в рамках региональной системы управления качеством образования, направлен на обеспечение мер педагогической поддержки выпускников 11-х классов, имеющих риск неуспешности на процедурах государственной итоговой аттестации в форме ЕГЭ.
Ключевые слова: педагогическая поддержка, неуспеваемость, образовательный проект, диагностика уровня образовательных достижений, цифровая образовательная среда.

About measures of pedagogical support of students implemented in the digital educational environment.
Bechiev Sh.Sh. Federal State Institution of Digital Transformation in Education, Moscow, Russia
The article is devoted to the research of measures of pedagogical support for high school student within the project "I will pass the Unified State Exam" which was specially organized in the digital educational environment. The project was developed and implemented the regional education quality management system, aimed at providing pedagogical support measures for graduates of the 11th grades who have a risk of failure in the procedures of the state final certification in the Unified State Exam.
Keywords: pedagogical support, academic failure, educational project, diagnostics of the level of educational achievements, digital educational environment.

Введение

Вопросы повышения качества школьного образования имеют непреходящую актуальность для любого общества. В современном мире уровень развития образования страны становится одним из главных факторов ее глобальной конкурентоспособности, а качество образования личности – необходимым условием успешности человека периода цифровой трансформации. В этой связи создание педагогических условий, обеспечивающих успешность всех обучающихся, оказание необходимой педагогической поддержки отдельным категориям обучающихся – задача, над решением которой трудятся педагогические коллективы всех школ. Опыт реализации указанных задач в посредством специально организованных мер педагогический поддержки школьников является предметом настоящей статьи, имеющей целью познакомить педагогическое сообщество с дидактическими подходами к проектированию подобных проектов, обобщение продуктивного педагогического опыта.

Постановка проблемы

В отечественной педагогической традиции для характеристики обучающихся, испытывающих трудности в освоении учебного материала, принято использовать ряд определений, содержательные границы и общеупотребительная научная практика применения которых ясно не определены. Так, в работе [1] приводятся следующие термины, характеризующие феномен затруднений обучающихся: «неуспеваемость», «образовательная неуспеваемость», «образовательная неуспешность», «академическая неуспешность», «школьная неуспешность». В целях настоящей статьи для характеристики школьников, испытывающих трудности в обучении, автор будет использовать термин «неуспеваемость», понимая под этим [2] несоответствие подготовки школьника требованиям содержания образования, проявляющееся в низких образовательных результатах .

Меры педагогической помощи и поддержки особенно актуальны для выпускников старших классов, испытывающих трудности в освоении учебного материала - для них успешность прохождения процедур итоговой государственной аттестации (ГИА) является обязательным условием получения в дальнейшем профессионального образования.

Поиск практических путей снижения неуспеваемости старших школьников через реализацию системных мер педагогической поддержки привел к идее создания в Чеченской Республике проекта «Я сдам ЕГЭ». Как следует из названия, указанный проект ориентирован на учащихся, имеющих трудности в освоении предметного материала (усвоение знаний, овладение обобщенными способами действий, отработку приемов и способов действий), и направлен на устранение выявляемых в ходе специально организованных диагностик предметных дефицитов по русскому языку и математике – дисциплинам, обязательным для сдачи в ходе ГИА в форме единого государственного экзамена (ЕГЭ). Инициатором проекта являлось министерство образования и науки Чеченской Республики, региональным координатором – возглавляемый автором коллектив Центра оценки качества образования. Функции

координации проекта на уровне муниципальных образований выполняли методические службы районных органов управления образования.

Проект имел целью актуализацию и систематизацию предметного знания учащихся группы риска. Достижение сформулированной цели предполагалось решением следующих задач:

- привлечением к участию в проекте наиболее компетентных учителей, имеющих сформированные навыки продуктивной работы с учащимися, испытывающими трудности в обучении;
- отбором предметного материала, обеспечивающего систематизацию знаний учащихся;
- максимальным вовлечением в проект родителей, законных представителей учащихся, педагогической общественности школ;
- разработкой административно-организационных регламентов, призванных на каждом этапе проекта отслеживать индивидуальный прогресс участников;
- разработку механизмов мотивации административно-управленческого персонала (администраций школ, работников органов управления образования), участвующего в проекте;
- качественным методическим, дидактическим и психолого-педагогическим сопровождением проекта.

С точки зрения управления проект был разбит на несколько этапов.

Первый этап имел подготовительный характер в ходе которого Центр оценки качества образования разрабатывал локальные нормативные акты, определял муниципальных координаторов, разрабатывал контрольно-измерительные материалы, проводил установочные семинары и совещания, формировал базу данных учащихся 11-х классов. Также, на этом этапе, в информационно-аналитической системе «Монит95» (ИАС «Монит95») создавались личные кабинеты школ, муниципальных и регионального координаторов.

Разработка проекта в ИАС «Монит95» позволило реализовать следующие педагогически значимые возможности цифровой образовательной среды:

- обеспечить индивидуализацию учебно-познавательной деятельности обучающихся;
- обеспечить оперативную обратную связь с участниками проекта;
- создать возможность непрерывного мониторинга результатов учебной деятельности;
- освободить педагогов от работы, имеющей рутинный характер;
- обеспечить быстроту и надежность обработки данных.

Цифровая образовательная среда позволяла также решать ряд управленческих функций, таких как планирование, организация, регулирование, координирование, анализ и контроль.

На втором этапе проекта были проведены входные диагностики уровня предметных достижений учащихся 11-х классов и осмысление их результатов. В ходе автоматизированной обработки данных выделены группы участников по уровням предметных достижений, полученные данные занесены в личные кабинеты образовательных организаций. Одновременно с этим, на основе содержательного анализа результатов диагностик, составлены календарно-тематические планы внеурочных занятий, подготовлены дидактические материалы, подготовлен и проведен методический онлайн-семинар для школьных координаторов проекта (заместителей директора по учебно-воспитательной работе).

В ходе третьего этапа для участников, показавших недостаточный уровень предметных знаний, были организованы корректирующие занятия. Занятия проводились каждую неделю, три занятия продолжительностью два учебных часа (по одному учебному часу на каждый из двух предметов).

Четвертый этап предполагал проведение промежуточных диагностических исследований. На основе результатов промежуточных диагностик был доработан календарно-тематический план, в проект были внесены необходимые организационно-управленческие и содержательные корректировки. По результатам диагностик также актуализировался список участников: успешные учащиеся могли выйти из проекта, некоторым учащимся (показавшим низкий уровень знаний во время промежуточных диагностик) было предложено подключиться к участию в проекте. По итогам этапа был проведен онлайн-семинар для муниципальных и школьных координаторов проекта.

На пятом этапе проекта продолжалось проведение внеурочных занятий.

Завершился проект предусмотренными итоговыми диагностиками и подведением результатов проекта.

В содержательном плане логика и последовательность проекта выглядели таким образом.

Проект основан на организации мер специальной педагогической поддержки учащихся, испытывающих трудности в обучении, через устранение накопленных дефицитов предметной подготовки, выявляемых в ходе диагностических процедур. Для проведения диагностик региональный координатор проекта разрабатывал соответствующие регламенты, составлял рекомендации по организации, проведению и проверке результатов исследования. Комплекты используемых контрольно-измерительных материалов (КИМ), были основаны на имеющихся в открытом доступе оценочных материалах Федерального института педагогических измерений (ФИПИ). Обращение к этим материалам обеспечивало соответствие используемых заданий уровню требований федеральных образовательных

стандартов к ожидаемым результатам освоения учащимися основной образовательной программы. В своих подходах к определению содержания КИМ, организаторы опирались на разработанный ФИПИ Универсальный кодификатор (по предметам) проверяемых требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования. Комплект КИМ содержал только тестовую часть для обеспечения возможности автоматизированной проверки работ. В состав КИМ по русскому языку были включены 26 проверяемых элементов содержания, работа по математике содержала 21 элемент.

Всего в ходе проекта, запланированного на 2022-2023 учебный год, предполагалось проведение трех диагностик: входная (октябрь), промежуточная (январь) и итоговая (май). Результаты диагностики участников соотносились с тремя уровнями подготовки учащихся (табл.1)

Таблица 1 - Критерии соотнесения результатов с уровнями предметной подготовки, баллы

№	Предмет	Низкий уровень	Базовый уровень	Высокий уровень
1	Русский язык	0-10	11-26	27-33
2	Математика	0-7	8-16	17-21

Предметом особого внимания организаторов проекта был аспект обеспечения объективности проведения и оценивания работы. Деятельность в этом направлении была организована в соответствии с рекомендациями по повышению объективности оценки образовательных результатов, предложенных Рособрнадзором [3].

Для обеспечения объективности процедур проведения диагностики к участию в ней привлекались общественные наблюдатели, студенты выпускных курсов педагогических специальностей, специалисты министерства образования и науки региона. Повышению объективности оценивания результатов призвана была способствовать организация автоматизированной обработки данных.

Обработанные результаты проведенного исследования, с выделением учащихся группы риска неуспешности на ГИА, размещались в личных кабинетах школ и муниципальных координаторов, передавались для использования в работе методическим объединениям учителей-предметников.

Для дальнейшей работы в проекте образовательная организация формировала из учащихся, испытывающих трудности в освоении предметного материала, группы в составе не более 10 человек. Для работы в таких группах приглашались педагоги, имеющие эффективный опыт работы с неуспевающими учащимися. Расписание занятий (дату и время проведения) утверждала администрация школы. Темы проведения конкретных занятий соответствовали календарно-тематическому плану, предложенному организаторами проекта, на изучение одной темы отводилась одна неделя. Методические рекомендации (при их наличии), обучающий материал по теме занятия, проверочные работы для контроля освоения пройденного материала еженедельно, в соответствии с изучаемой темой, размещались специалистом Центра оценки качества образования в личных кабинетах образовательных организаций.

Освоение каждой темы в пятницу завершалось текущей диагностикой. Для учащихся, не справившихся с освоением недельного материала, организовывались дополнительное занятие в субботу. В целях обеспечения единства требований к содержанию и уровню сложности КИМ, материалы для проведения текущей диагностики разрабатывал региональный координатор на основе открытой базы заданий ФИПИ. Подобный подход снижал трудоемкость подготовки к занятиям для приглашенных к участию в проекте педагогов, создавая им возможность полнее сконцентрироваться на учебных целях проекта.

Результаты текущей диагностики успешности каждого ученика школьный координатор проекта (заместитель директора по учебно-воспитательной работе) еженедельно отражал в личном кабинете проекта. Данные всех школ района были доступны для изучения муниципальному координатору, обладавшему правами администратора соответствующего уровня, что позволяло районному отделу управления образования отслеживать эффективность работы каждой школы в проекте. Материалы всех муниципальных координаторов были доступны координатору от Центра оценки качества образования. Также, с целью повысить результативность проекта, из специалистов Центра оценки качества образования в помощь каждому муниципалитету был прикреплен специалист, способный оказать необходимую тьюторскую помощь. Таким образом, в информационно-аналитической системе «Монит95» была реализована трехуровневая управленческая функция: образовательная организация – муниципальный координатор – региональный координатор.

Предполагаемые проектом входные диагностики были проведены в конце сентября 2022 года. В них приняли участие 98% учащихся 11-х классов образовательных организаций Чеченской Республики.

Таблица 2 - Результаты промежуточных диагностических исследований уровней предметной подготовки

№	Предмет	Низкий уровень (%)	Базовый уровень (%)	Высокий уровень (%)
1	Русский язык	23,5	71,0	5,5
2	Математика	23,0	71,4	5,6

Входную диагностическую работу по предмету «Русский язык» выполнили 7 876 учащихся. В соответствии с критериями, приведенными в табл. 1, результаты их работ следующим образом соотносились с уровнем предметных знаний:

- высокий уровень – 433 чел.;
- базовый уровень – 5 592 чел.;
- низкий уровень – 1 851 чел.

Распределение участников диагностики по количеству набранных баллов показывает рис.1. Средний балл выполнения заданий составил 15,37 балла. Характер распределения данных соотносится с нормальным распределением, отражая возможный уровень объективности оценивания – характерный для необъективных оценок «скачок» значений при переходе от одного уровня знаний к другому (в данном случае между 10 и 11 заданиями) отсутствует.

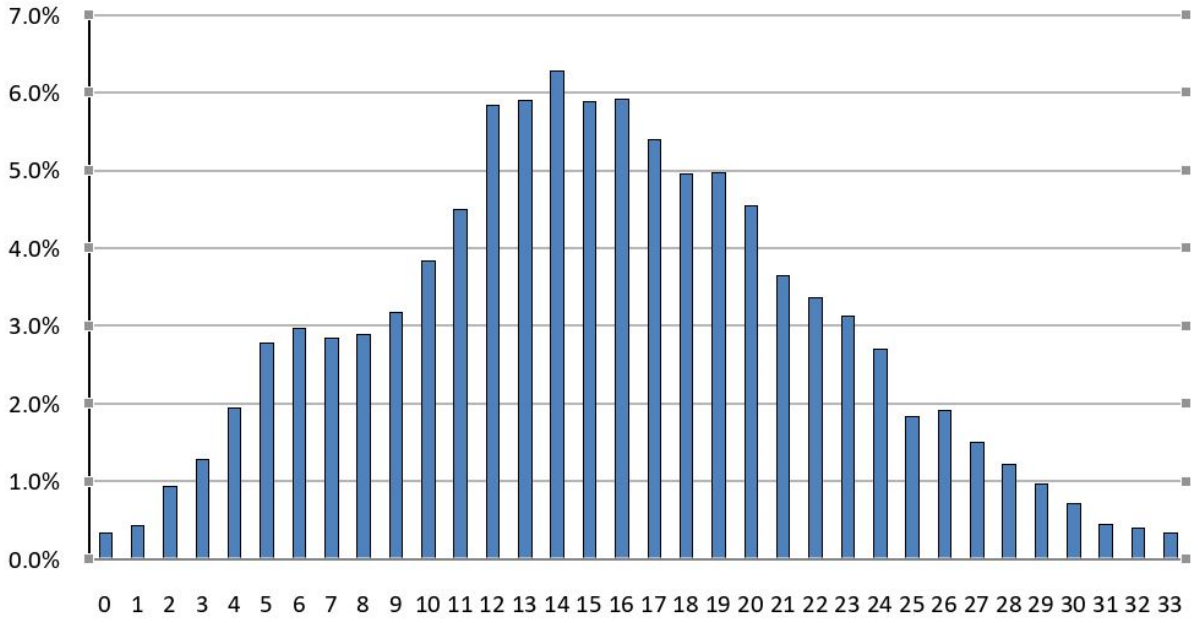


Рисунок 1 - Распределение участников по набранным баллам, Русский язык, %

Содержательный анализ результатов диагностики показывает, что труднее всего учащимся давалось выполнение заданий по темам: «Морфологический анализ слова. Средства связи предложений в тексте», «Пунктуационный анализ» и «Знаки препинания в сложном предложении с разными видами связи. Знаки препинания в сложном предложении с союзной и бессоюзной связью» – с заданиями по этим темам справились менее трети обучающихся. Наиболее успешно участники диагностики выполнили задание по темам «Языковые нормы. Лексические нормы» (75%), «Лексическое значение слова» (70%), «Грамматические нормы (синтаксические нормы)» (69%).

Входную диагностическую работу по предмету «Математика» выполнили 7 882 учащихся, следующим образом распределившиеся по группам:

- высокий уровень – 434 чел.;
- базовый уровень – 5 635 чел.;
- низкий уровень – 1 813 чел.

По набранным в диагностике баллам учащиеся распределились следующим образом (рис.2).

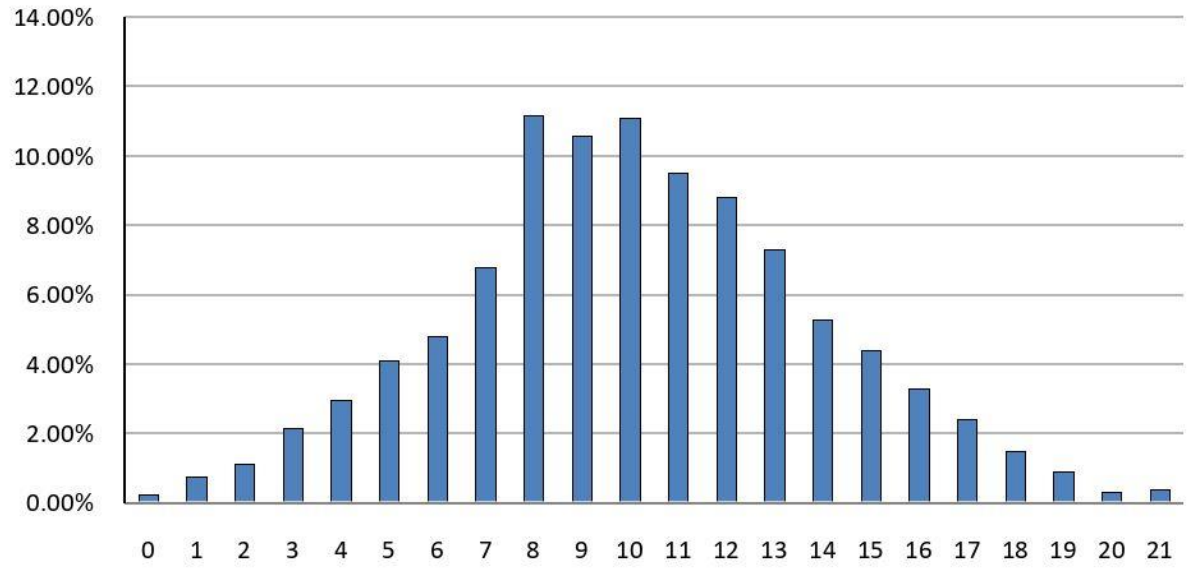


Рисунок 2 - Распределение участников по набранным баллам, Математика, %.

Средний балл участников диагностики составил 10,12 балла. Характер распределения значений на рис.2 может свидетельствовать о меньшей, по сравнению с диагностикой по предмету «Русский язык», объективностью результатов – на рисунке отмечается резкий «скачок» доли учащихся, выполнивших 8 заданий, т.е. преодолевших порог минимального балла уровня базовой подготовки.

Наибольшую сложность для учащихся составили задания, предполагающие сформированность следующих предметных компетенций:

- уметь строить и исследовать простейшие математические модели (справились с заданием 15,5% участников);
- уметь выполнять действия с геометрическими фигурами (выполнили задание 16,7% участников);
- уметь выполнять вычисления и преобразования (правильно выполнили 22,6% участников).

В целом, результаты оценочных процедур показали достаточно тревожную учебную ситуацию, характеризующуюся наличием значительных предметных дефицитов у большого числа учащихся на завершающем этапе их школьного обучения. Задача специального исследования причин отмеченного явления организаторами не ставилась, однако их осмысление, с привлечением экспертов в области предмета и методики обучения, нами было проведено. Из совокупности внешних, по отношению к обучающемуся, факторов нами были выделены три их группы:

- относящиеся к уровню компетентности и мотивации педагога (вовлеченность, уровень профессиональных компетенций, сформированность навыков преподавания в цифровой образовательной среде, обеспечивающей доступность образовательных ресурсов);
- относящиеся к качеству управления образовательной организацией (эффективность системы управления качеством, организация профессионального взаимодействия в педагогическом коллективе, продуктивность работы с учащимися группы риска);
- относящиеся к качеству школьной среды (мотивирующая среда, вовлеченность родителей, школьная дисциплина).

Первая часть работы в проекте «Я сдам ЕГЭ» была проведена в период с октября по январь 2022-2023 учебного года. В проекте участвовали будущие выпускники, показавшие неудовлетворительный уровень знаний по предмету. Основными педагогическими задачами этапа стали развитие мотивации учащихся к обучению, активизация познавательной деятельности и вовлеченности в учебную работу, актуализация и систематизация предметного знания. Для достижения этих задач задействованный в проекте педагогический коллектив школы тесно взаимодействовал с родителями школьников, на внеурочные занятия в качестве тьюторов приглашалась мотивированные, успешные в обучение учащиеся, занятия посещали специалисты муниципальных методических служб, проводились открытые занятия. Главной целью предметного обучения стало формирование системных базовых знаний по каждой из двух школьных предметов.

Промежуточные диагностики, призванные выявить степень подготовки будущих выпускников к ЕГЭ, показать результативность проекта в деле ликвидации пробелов предметной подготовки, были проведены в январе 2023 г. Результаты этой диагностики представлены в табл.3.

Таблица 3 - Результаты промежуточных диагностических исследований уровней предметной подготовки

№	Предмет	Число участников, чел.	Низкий уровень (%)	Базовый уровень (%)	Высокий уровень (%)
1	Русский язык	7 679	9,8	86,5	3,7
2	Математика	7 684	15,6	76,2	8,2

В этих диагностиках по каждому из предметов приняли участие почти на 200 человек меньше, чем на входных диагностиках. Отчасти это было связано с тем, что проект покинули учащиеся, по соответствующим основаниям проходящие ГИА в форме государственного выпускного экзамена (ГВЭ).

Диагностики показали положительную динамику результатов участников: доля учащихся, выполнивших работу на высоком уровне изменилась мало, но существенно сократилась доля учащихся с риском неуспешности на ЕГЭ: таких учащихся стало на 13,7% меньше по предмету «Русский язык», на 7,4% меньше по предмету «Математика». Учитывая то, что целью проекта является устранение риска неуспешности ученика на ЕГЭ, подобный результат нужно считать приемлемым.

В контексте анализа итогов диагностик также было отмечено, что динамика улучшения результатов работ по русскому языку почти в два раза выше, чем по математике. Методический анализ ситуации показал, что наиболее вероятными причинами отмеченного могли стать качество планирования и отбор содержания предметного материала.

С точки зрения оценки результативности проекта «Я сдам ЕГЭ» в деле ликвидации предметных дефицитов, целесообразно выделить из общих итогов всех участников проекта результаты именно целевой группы (учащиеся с риском неуспешности на ЕГЭ). Такое выделение показывает, что из 100 % учащихся, неуспешных по предмету «Русский язык»в первой диагностике, при проведении промежуточной оценочной процедуры 75 % выполнили работу на базовом уровне сформированности предметных знаний. По предмету «Математика» из 100% неуспешных во входной диагностике участников проекта на базовом уровне знаний работу промежуточной диагностики выполнили 65% участников, а 2% смогли выполнить работу на высоком уровне. Другими словами, за 12 недель участия в проекте от 67% (математика) до 75 % (русский язык) его участников смогли показать необходимый для успешной сдачи ЕГЭ минимум знаний.

Проведенный этап промежуточной диагностики и более глубокое изучение её результатов показал также представляющийся алогичным факт: значительную часть результатов, характеризующих низкий уровень предметной подготовки, показали учащиеся, по результатам входной диагностики не отнесенные к группе риска (и, следовательно, не участвовавшие в проекте). В промежуточной диагностике доля таких участников составила 33% по русскому языку и 47% по математике. В качестве возможной причины отмеченного можно сформулировать два фактора: снижение познавательной активности будущих выпускников или недостаточная объективность проведения и оценки результатов диагностик в начале проекта.

Для анализа первой возможной причины необходимо обратиться к возрастным особенностям проявления познавательной активности учащихся старших классов. Педагогическая теория и практика показывают, что специфичной особенностью познавательной активности и мотивационной сферы старшеклассников (15-18 лет) является преобладание мотивов самоопределения и подготовки к самостоятельной жизни [4]. В силу этого, характерным для старшеклассника является установление избирательного отношения к школьным предметам, связанным с их профессиональной направленностью, концентрация интереса на «важных» предметах. В этой связи снижение познавательной активности к изучению предметов, обязательных для сдачи в ходе государственной итоговой аттестации, представляется сомнительным.

Охарактеризованная выше специфика проявления познавательной активности старшеклассника носит характер не закона, а закономерности, снижение успеваемости некоторых учащихся по этой причине даже в выпускных классах исключать нельзя, но в данном случае проблема все же видится в недостаточно объективных результатах входных диагностик.

Полученные в ходе промежуточной диагностики и описанные выше результаты оценочной процедуры были использованы организаторами для поиска путей повышения результативности проекта. В частности, для выявленных в ходе промежуточной диагностики новых учащихся с риском неуспешности сдачи ЕГЭ был запланирован педагогический предметный «интенсив», меры особой педагогической поддержки были разработаны для учащихся (65 чел.), показавших в ходе промежуточной диагностики низкие результаты по обоим обязательным предметам. Также были внесены некоторые небольшие изменения в регламенты проекта.

Итоговая диагностика учебных достижений выпускников 11-х классов по предметам «Русский язык» и «Математика», предусмотренная проектом «Я сдам ЕГЭ», была проведена в мае 2023 года (табл.4).

Таблица 4 - Результаты промежуточных диагностических исследований уровней предметной подготовки

№	Предмет	Число участников, чел.	Низкий уровень (%)	Базовый уровень (%)	Высокий уровень (%)
1	Русский язык	7 750	2,2	91,6	6,0
2	Математика	7 736	2,1	84,0	13,9

Обобщенный анализ результатов показывает существенное сокращение доли учащихся с низким уровнем обученности и, соответственно этому, рост доли учащихся, показывающих базовую предметную подготовку. Для наглядности результатов в табл. 5 и табл. 6 показана динамика их изменения в ходе всех трех диагностических процедур.

Таблица 5 - Результаты диагностического исследования уровня предметной подготовки, Русский язык, %.

№	Диагностики	Число участников, чел.	Низкий уровень (%)	Базовый уровень (%)	Высокий уровень (%)
1	Входная	7 876	23,5	71,0	5,5
2	Промежуточная	7 679	9,8	86,5	3,7
3	Итоговая	7 750	2,2	91,6	6,0

Таблица 6 - Результаты диагностического исследования уровня предметной подготовки, Математика, %.

№	Диагностики	Число участников, чел.	Низкий уровень (%)	Базовый уровень (%)	Высокий уровень (%)
1	Входная	7 882	23,0	71,4	5,6
2	Промежуточная	7 684	15,6	76,2	8,2
3	Итоговая	7 736	2,1	84,0	13,9

Отмечая направленность проекта на организацию мер педагогической поддержки учащихся, испытывающих трудности в освоении предметного содержания, логично начать анализ именно с этой категории учащихся.

На начальном этапе проекта, в ходе проведенной оценочной процедуры, из общего числа участников было выявлено 1851 учащихся, выполнивших работу по предмету на низком уровне знаний. Эти учащиеся на момент проведения исследования не достигли предполагаемых образовательным стандартом предметных результатов по русскому языку, имели высокий риск неуспешности при сдаче ЕГЭ и, как следствие, – риск неполучения аттестата. К этапу проведения промежуточной диагностики, после двух месяцев работы в проекте, количество учащихся с группой риска неуспешности на экзамене по предмету уменьшилось более чем в два раза. Такому значительному сокращению способствовала системность организации проекта: организационно-управленческая проработанность, целесообразный поставленным задачам отбор содержания учебного материала, внимание к сфере мотивации школьника и активизации его познавательной деятельности.

К дате завершения проекта число участников с риском неуспешности на ЕГЭ в ходе процедур ГИА сократилось более чем в 10 раз, снизившись с 1 851 до 171 чел. Доля учащихся, достигших высокого уровня знаний, выросла незначительно (на 0,5%), но и задача достижения высоких образовательных результатов не ставилась

Результаты проекта по предмету «Математика» (табл. 6) схожи с представленными выше данными по предмету «Русский язык»: доля учащихся группы риска сократилась с 23% до 2,1%. Особенностью результатов по предмету стал неожиданный для организаторов рост числа учащихся, достигших высокого уровня знаний – с 441 до 1 075 чел. (рост в 2,5 раза).

Подведение итогов проекта «Я сдам ЕГЭ» практически совпало с началом периода государственной итоговой аттестации выпускников. Описанные итоги проекта «Я сдам ЕГЭ» были получены в ходе оценочных процедур, проводимых в самих образовательных организациях. Хотя при их проведении были соблюдены доступные организаторам меры обеспечения объективности проведения и оценки результатов, некоторую недостоверность итогов нельзя было исключить. Поэтому участники и организаторы со сдержанным оптимизмом оценивали эффективность проекта, ожидая результаты единого государственного экзамена.

В соответствии с распорядительным документами министерства Просвещения Российской Федерации и Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки [5], экзамены по русскому языку и математике базового уровня в 2023 году были проведены 29 мая и 1 июня соответственно. По итогам государственной итоговой аттестации [6] из 1 783 участников проекта, принявших участие в ЕГЭ

по предмету «Русский язык» успешно преодолели минимальный порог баллов 1 619 обучающихся, что составило 90,8%. Минимальный порог по предмету «Математика. Базовый уровень» из 1 731 участников проекта успешно преодолели 1 434 выпускников, что составило 82,8%.

Заключение

В заключении, характеризуя проект «Я сдам ЕГЭ», можно отметить высокую степень его результативности, обеспеченную комплексным характером и системностью реализованных в проекте мероприятий. Представляется, что в рамках мер педагогической поддержки выпускников проект может быть рекомендован к использованию образовательным организациям и органам управления образования муниципального и регионального уровня.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках проведения научного исследования 1023053100013-1-5.3.1;1.2.1 «Методология проектирования цифровой образовательной среды развития профессиональных компетенций педагога средствами информального образования»

Литература

1. Дормидонтов, Р. А. Проблема успеваемости и успешности обучающихся в свете социальных изменений развития общества и образовательных систем / Р. А. Дормидонтов // Мир науки. Педагогика и психология. – 2022. – Т. 10, № 5
2. Цетлин В.С. Неуспеваемость школьников и ее предупреждение. — М.: Педагогика, 1977. — 120 с.
3. https://fioco.ru/Media/Default/Documents/ОСОКО/ВПР/Рекомендации%20по%20объективности. PDF (дата обращения: 21.06.2023)
4. Шонин, М. Ю. Возрастные особенности проявления познавательной активности у старшеклассников в процессе их учебно-познавательной деятельности / М. Ю. Шонин, С. Н. Власова // Научные труды Московского гуманитарного университета. – 2019. – № 4. – С. 56-64
5. Приказ Минпросвещения России N 989, Рособрнадзора N 1143 от 16.11.2022 (ред. от 27.06.2023) "Об утверждении единого расписания и продолжительности проведения единого государственного экзамена по каждому учебному предмету, требований к использованию средств обучения и воспитания при его проведении в 2023 году" (Зарегистрировано в Минюсте России 14.12.2022 N 71521) (дата обращения - 07.07.2023 г.)
6. Совещание с региональными кураторами проекта «Я сдам ЕГЭ» http://coko95.ru/pressa/news/1132-ya-sdam-ege-soveshanie.html . (дата обращения - 04.07.2023 г.)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОХРОННЫХ УСТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ-МОНИТОРА USB

Богодистова Е.С.
Российский университет транспорта (РУТ-МИИТ), г. Москва

В целях подготовки лекционного курса по дисциплине «Периферийные устройства» рассматриваются особенности работы изохронных устройств USB. Оценивается максимальная пропускная способность изохронных транзакций. Проводится анализ конечных точек типовых изохронных устройств USB по результатам эксперимента, проведенного с помощью программы-монитора USB.

Ключевые слова: универсальная последовательная шина (USB), изохронное устройство, программа-монитор USB

Isochronous devices research using USB port monitor. Bogodistova E.S. Russian University of Transport (RUT-MIIT)

For the purposes of a lecture course preparing on the discipline "Peripheral devices", the features of the operation of USB isochronous devices are considered. The maximum throughput of isochronous transactions is estimated. The endpoints of typical isochronous USB devices are analyzed based on experimental results obtained using a USB monitor program.

Keywords: Universal Serial Bus (USB), isochronous device, USB port monitor

Введение и постановка задачи

Многообразие устройств USB позволяет организовать множество экспериментов с ними в условиях лаборатории вуза и с помощью домашних компьютеров студентов [1-3]. При подготовке

лекционного курса целесообразно уделить определенное внимание работе изохронных устройств. Как определено в спецификации USB 3.2, изохронные данные – это поток данных, хронометраж которых определяется скоростью их доставки, изохронное устройство – объект с изохронными конечными точками, который является источником или приемником дискретизированных аналоговых потоков или синхронных потоков данных (перевод определений терминов “ isochronous data” и “isochronous device”, данных в [4, p. 8]).

При изохронной передаче данных возникает проблема синхронизации устройств, так как не должно возникать переполнения или опустошения буфера устройства-приемника. Обмен данными при изохронных передачах производится без квитирования, темп обмена определяется дескриптором изохронной конечной точки. По типу синхронизации источников или получателей (приемников) изохронных данных с системой различают асинхронный, синхронный и адаптивный классы конечных точек, а также тип «нет синхронизации» [5].

Работа в низкоскоростном режиме (Low speed) для изохронных устройств USB запрещена.

Надо отметить, что данные, которые в некоторое устройство должны поступать с постоянной скоростью, не всегда требуют изохронной передачи. Например, хост может использовать передачу массивов данных (Bulk) для отправки музыкального файла на устройство. После получения файла устройство может воспроизводить музыку в потоковом режиме без участия посредников.

Оценка максимальной пропускной способности в изохронных транзакциях

Синхронизирующим для полноскоростных (Full-speed) и высокоскоростных (High-Speed) изохронных устройств (работающих в режимах соответственно Full и High по спецификации USB 2.0) является маркерный пакет транзакции (token packet) SOF (Start Of Frame), который маркирует начало кадра (Full-speed) и микрокадра (High-Speed).

Устройства, работающие в режимах сверхскорости Enhanced SuperSpeed (SuperSpeed и SuperSpeedPlus), получают для синхронизации специальные пакеты с изохронной временной меткой (Isochronous Timestamp Packets) [4, p. 35]. Это многоадресные (multicast) пакеты, которые отправляются хостом для всех устройств, которые не находятся в состоянии низкого энергопотребления. Изохронные передачи могут также синхронизироваться с другим источником данных или получателем, например, вход микрофона может синхронизироваться с выходом динамиков [6, p. 174].

Изохронные данные передаются с фиксированной скоростью передачи с определенным количеством байт, передаваемых в каждом интервале обслуживания конечной точки. Дескриптор конечной точки определяет продолжительность интервала обслуживания, максимальный размер пакета данных, количество групповых транзакций (Burst Transactions) и максимальное количество пакетов в группе.

Интервал обслуживания изохронной конечной точки для USB 2.0 и USB 3.2 определяется по формуле $(2^{\text{Interval-1}}) \times F$ [7, p. 47; 4, p. 46], где параметр конечной точки Interval может быть равен 1, 2, … или 16. Интервал шины F равен 1 мс (частота 1 кГц) для режима Full-Speed, F равен 125 мкс (частота 8 МГц) для режимов High-Speed и Enhanced SuperSpeed.

В [6, p. 176] отмечается, что в режимах SuperSpeed и SuperSpeedPlus для изохронных передач используется пакетно-монопольный (групповой) режим обмена данными. При этом в транзакции IN хост отправляет один маркерный пакет для запроса одного или нескольких (множества) пакетов данных в интервале обслуживания, и устройство отправляет пакет(ы) в хост. В транзакции OUT хост отправляет множественные пакеты данных, а устройство ничего не отправляет в ответ.

В таблице 1 приведена оценка в мегабайтах в секунду (MB/s) максимальной пропускной способности (maximum data throughput) в изохронных транзакциях на основе информации, приведенной в [6, p. 176] и [4, p. 35]. Максимальный размер пакета данных не включает поля идентификатора пакета (packet identifier, PID) и контроля (CRC). Для режимов SuperSpeed и SuperSpeedPlus учитывается значение параметра дескриптора конечной точки bMaxBurst [6, p. 176; 4, p. 232], которое может быть нулевым или большим нуля, интервал шины (bus interval) равен 125 мкс [4, p. 46].

Хост отправляет данные в конечную точку или запрашивает их у нее в каждом интервале обслуживания. Между хостом и изохронной конечной точкой SuperSpeed может происходить за интервал обслуживания до трех групповых транзакций, содержащих до 16 пакетов максимального размера (3 x 16 x 1024 байта = 48 x 1024 байта), между хостом и изохронной конечной точкой SuperSpeedPlus – до шести групповых транзакций, в каждой из которых передается до 16 пакетов максимального размера (6 x 16 x 1024 байта = 96 x 1024 байта).

Пакеты данных в пределах групповой транзакции (интервала обслуживания) нумеруются, начиная от нуля. Каждый последующий пакет данных, передаваемый в течение одного и того же интервала обслуживания, отправляется со следующим более высоким порядковым номером. Порядковый номер изменяется с тридцати одного на ноль при передаче тридцать второго пакета. Если конечная точка не

имеет изохронных данных для передачи при обращении хоста, она должна отправить пакет нулевой длины в ответ на запрос данных.

Таблица 1 – Оценка максимальной пропускной способности конечной точки в изохронных транзакциях

Режим	Максимальный размер пакета данных и значение параметра конечной точки bMaxBurst	Произведение количества (групповых) транзакций на максимальное количество пакетов в группе	Интервал шины	Количество байт в интервале обслуживания	Максимальная пропускная способность, мегабайт в секунду (MB/s)
Full	0–1023	1	Кадр, 1 мс	1023	1,023
High	0–1024	1	Микрокадр, 125 мкс	1024	8,192
High	513–1024	2×1	Микрокадр, 125 мкс	2048	16,384
High	683–1024	3×1	Микрокадр, 125 мкс	3072	24,576
SuperSpeed	0–1024, bMaxBurst = 0	3×1	Интервал шины, 125 мкс	3072	24,576
SuperSpeed	1024, bMaxBurst > 0	48 (3×16)	Интервал шины, 125 мкс	49 152 Кбайт	393,216
SuperSpeedPlus	0–1024, bMaxBurst = 0	3	Интервал шины, 125 мкс	3072	24,576
SuperSpeedPlus	1024, bMaxBurst > 0	96 (3×16)	Интервал шины, 125 мкс	98 304 Кбайт	786,432

Результаты эксперимента

Для экспериментов с устройствами USB использована свободно распространяемая программа Advanced USB Port Monitor [8], позволяющая получить детальную информацию об устройстве и его конечных точках путем анализа системы дескрипторов.

Рассмотрим организацию работы трех типов распространенных изохронных устройств USB: компьютерной гарнитуры, веб-камеры и игрового пульта. Это составные устройства, их класс определяется классами интерфейсов конечных точек.

Гарнитура представляет собой полноскоростное устройство, работающее в режиме передачи Full со скоростью 12 Mbit/s по спецификации USB 1.1 (поддерживается в USB 2.0). Веб-камера является в терминах USB высокоскоростным устройством, которое работает в режиме передачи High со скоростью 480 Mbit/s по спецификации USB 2.0. (Отметим обратную совместимость USB 3.2 с USB 2.0.)

В эксперименте получены данные о конечных точках гарнитуры и веб-камеры, представленные в таблице 2, где приведены следующие параметры:

– полная характеристика интерфейса конечной точки, включающая класс, подкласс и протокол (Interface class/ subclass/ protocol);

– адрес точки (Endpoint address) и направление передачи;

– тип передачи (Transfer type);

– тип синхронизации (Synchronization type);

– тип использования (Usage type) – точка данных (data endpoint) или без определения типа;

– максимальный размер пакета;

– интервал обслуживания (Interval) для конечных точек периодических передач (Isochronous и Interrupt);

– адрес синхронизации (Sync address).

Таблица 2 – Характеристики конечных точек гарнитуры и камеры

Характеристики конечных точек	Конечные точки гарнитуры Режим передачи (спецификация) Full (USB 1.1, 12 Mbit/s)			Конечные точки камеры Режим передачи (спецификация) High (USB 2.0, 480 Mbit/s)		
	1	2	3	1	2	3
Класс/ подкласс/ протокол интерфейса	0x01 (Audio)/ 0x02 (Streaming)/ 0x00	0x01 (Audio)/ 0x02 (Streaming)/ 0x00	0x03 (Human Interface Device)/ 0x00 (No Subclass)/ 0x00 (None)	0x0E (Video)/ 0x02 (Video Streaming)/ 0x00	0x0E (Video)/ 0x01 (Video Control)/ 0x00	0x01 (Audio)/ 0x01 (Control Device)/ 0x00
Адрес точки и направление передачи	0x01, Out	0x82, In	0x87, In	0x81, In	0x83, In	0x84, In
Тип передачи	Isochronous	Isochronous	Interrupt	Isochronous	Interrupt	Isochronous
Тип синхронизации	синхронная точка	асинхронная точка	-	асинхронная точка	-	асинхронная точка
Тип использования	точка данных	точка данных	-	точка данных	-	точка данных
Максимальный размер пакета	0x00C0 (192)	0x0062 (98)	0x0005 (5)	0x0080 (128); 256; 800; 2848; 4896; 5120 *1)	0x0010 (16)	0x0190 (400)
Interval (Интервал обслуживания)	0x0001 (1)	: 0x0001 (1)	0x01 (1)	0x01 (1)	0x06 (6)	0x0004 (4)
Адрес синхронизации	0x00	0x00	-	-	-	0x00

Примечание *1) широкополосная изохронная конечная точка

Гарнитура, являющаяся составным устройством, содержит наушники (головные телефоны), встроенный микрофон с шумоподавлением, имеет регулятор громкости и клавишу включения/выключения микрофона, характеризуется звуковой системой пространственного звучания 7.1. Гарнитуру отличает режим Full, и она отнесена к специфическому классу производителя (Vendor Specific Class) и аналогичному подклассу.

Согласно [6, p. 315] типовое аудиоустройство имеет обязательный интерфейс аудио-управления (AudioControl (AC) Interface) для управления громкостью, балансом звука между правым и левым каналами, высокими и низкими частотами и необязательный (по выбору) потоковый аудио-интерфейс (AudioStreaming (AS) Interface), который переносит не только изохронные аудио данные, но и данные управления, относящиеся к потоковым данным. *Примечание.* В русскоязычном источнике [9] AudioControl расшифровывается как управляемый модуль аудио-обработки, которая включает регулировку уровня, фильтрацию, создание различных эффектов.

Так как гарнитура имеет две конечные точки Isochronous OUT и Isochronous IN, обе с потоковым интерфейсом (AudioStreaming), и точку Interrupt IN, но не указан интерфейс аудио-управления, то можно определить назначение изохронных конечных точек следующим образом:

– Изохронная конечная точка «0x01, Out/ Isochronous/ Audio/ 192» с типом использования «данные (data endpoint)», максимальным размером пакета 192 байта и типом синхронизации «синхронная» обеспечивает воспроизведение звука через головные телефоны гарнитуры, может выводить также данные управления; она обеспечивает синхронный вывод данных правого и левого аудиоканалов;

– Изохронная конечная точка «0x82, In/ Isochronous/ Audio/ 98» с типом использования «данные», максимальным размером пакета 98 байтов и типом синхронизации «асинхронная» обеспечивает ввод данных от микрофона гарнитуры.

Конечная точка гарнитуры «0x87, In/ Interrupt/ HID/ 5» с максимальным размером пакета 5 байтов обеспечивает ввод служебных данных.

Наличие нулевого адреса синхронизации (Sync address) 0x00 для точек Isochronous OUT и Isochronous IN гарнитуры говорит об использовании для синхронизации нулевой конечной точки. Аудио-управление (Audio Control) громкостью, балансом звука между правым и левым каналами, высокими и низкими частотами осуществляется также через нулевую конечную точку.

Веб-камера как составное устройство имеет встроенный микрофон.

Согласно [6, p. 371; 10, p. 199] типовое видеоустройство имеет интерфейс видеоуправления (Video-Control Interface) и связанные с ним потоковые видео-интерфейсы (VideoStreaming Interfaces). Интерфейс видеоуправления использует управляющую конечную точку (control endpoint) и может использовать точку Interrupt IN. Потоковый видеоинтерфейс имеет одну точку Isochronous или Bulk для видеоданных и по выбору точку Bulk для неподвижных изображений.

Веб-камера характеризуется следующими конечными точками.

Широкополосная изохронная конечная точка «0x81, In / Isochronous / Video/ 128; (256; 800; 2848; 4896; 5120)» типа «данные» имеет шесть альтернативных вариантов размера пакета данных. Она характеризуется классом интерфейса Video, подклассом Video Streaming, является асинхронной по типу синхронизации и обеспечивает ввод видеоданных от камеры в потоковом режиме. Такая технология передачи видеоматериалов позволяет начинать их воспроизведение до завершения приёма всего файла.

Изохронная конечная точка «0x84, In/ Isochronous/ Audio/ 400» с размером пакета 400 байтов, не относящаяся к типу использования «данные» (точка без указания типа), характеризуемая классом интерфейса Audio, подклассом интерфейса Control Device, является асинхронной по типу синхронизации и осуществляет ввод данных от микрофона.

Конечная точка с передачей по прерываниям «0x83, In/ Interrupt/ Video/ 64» с размером пакета 64 байта имеет класс интерфейса Video, подкласс видеоуправления (Video Control), обеспечивает ввод служебных данных, в частности, данных о нажатии кнопки для записи видео.

Итак, асинхронными являются обе изохронные точки веб-камеры. Однако, только для точки аудио-управления Isochronous IN указан адрес синхронизации (Sync address) 0x00, значит, для синхронизации с хостом используется нулевая конечная точка.

В [11] отмечается, что камеры могут использовать класс запоминающего устройства (конечную точку Bulk), чтобы разрешить доступ к файлам изображений в памяти камеры, но в данном случае этого не наблюдается.

Таким образом, веб-камера принадлежит к классу аудио-видео-устройств (USB Audio/Video (AV) Device Class), ее функции связаны с изображением и звуком. Это простейшее устройство в данном классе. Класс AV введен в USB с 2011 года [12], он использует более сложные интерфейсы (AVControl Interface, AVData Streaming Interfaces) для передачи аудио-видео потоков через USB, обеспечивает надежную синхронизацию изображения и звука, может использовать сжатые данные.

Подчеркнем, что все конечные точки гарнитуры и веб-камеры являются точками Isochronous и Interrupt, то есть точками периодических передач (транзакций), и характеризуются интервалами обслуживания.

С обычной конечной точкой периодических передач в каждом *n*-м микрокадре производится лишь одна транзакция (*n* определяется параметром Interval дескриптора конечной точки). Для широкополосных изохронных конечных точек (USB 2.0) в каждом микрокадре возможна передача до трех пакетов данных.

Данные о конечных точках игрового пульта представленные в таблице 3.

Игровой пульт относится к специфическому классу производителя, класс/ подкласс/ протокол интерфейса выглядит как «Interface class/ subclass/ protocol: 0xFF (Vendor Specific Class)/ 0x47/ 0xD0». Игровой пульт работает в режиме передачи Full (USB 1.1, 12 Mbit/s), имеет 6 конечных точек. Имеется три интерфейса типов Interrupt, Isochronous и Bulk, каждый для соответствующей пары конечных точек с одинаковыми адресами, которые отличаются только направлением передачи (битом «1» в разряде 7 адреса):

«0x82, In / Interrupt / Vendor Specific/ 64» и «0x02, Out / Interrupt / Vendor Specific/ 64»;
«0x83, In /Isochronous/ Vendor Specific/ 64» и «0x03, Out / Isochronous/ Vendor Specific /228»;
«0x84, In /Bulk / Vendor Specific/ 64» и «0x04, Out /Bulk / Vendor Specific/ 64».

Так как игровой пульт работает в режиме Full, он имеет так называемые обычные изохронные конечные точки (в отличие от широкополосных точек режима High). Для обычной изохронной конечной точки в кадре возможна лишь одна транзакция.

Изохронные конечные точки пульта Isochronous OUT и Isochronous IN, имеющие тип «данные», не синхронизированы с хостом (тип синхронизации «none»), их одинаковые номера говорят о наличии явной обратной связи между ними через хост. Интервал обслуживания (Interval) показывает, как часто хост запрашивает данные обратной связи, чтобы своевременно отследить изменения. Хост-контроллер постоянно корректирует число передаваемых байт за каждый кадр, не допуская переполнения или опустошения буфера устройства-приемника. Если с прошлого опроса изменений нет, точка может ответить на опрос пакетом данных нулевой длины.

Таблица 3 – Характеристики конечных точек игрового пульта

Характеристики конечных точек	Конечные точки игрового пульта Режим передачи (спецификация) Full (USB 1.1, 12 Mbit/s)					
	1	2	3	4	5	6
Адрес точки и направление передачи	0x02, OUT	0x82, IN	0x03, OUT	0x83, IN	0x04, OUT	0x84, IN
Тип передачи	Interrupt	Interrupt	Isochronous	Isochronous	Bulk	Bulk
Тип синхронизации	-	-	none (нет)	none (нет)	-	-
Тип использования	-	-	data endpoint	data endpoint	-	-
Максимальный размер пакета	0x0040 (64)	0x0040 (64)	0x00E4 (228)	0x0040 (64)	0x0040 (64)	0x0040 (64)
Interval (интервал обслуживания)	0x04 (4)	0x04 (4)	0x01 (1)	0x01 (1)	0x00 (0)	0x00 (0)
Адрес синхронизации	-	-	-	-	-	-

Обсуждение и заключение

Реальная скорость обмена данными между хостом и конечной точкой устройства для критически важных по времени USB-передач ограничена пропускной способностью интерфейса USB, возможностями функциональной части устройства, возможностями драйвера и прикладного ПО, проблемами работы в ОС Windows, которая является многозадачной, но не является системой реального времени. Однако оценки максимальной пропускной способности, в частности, в изохронных транзакциях, представляются полезными при изложении лекционного материала.

Эксперименты с изохронными устройствами USB в лабораторном практикуме по учебным дисциплинам «Периферийные устройства», «Интерфейсы периферийных устройств» обеспечивают развитие компетенции обучающихся в области организации ЭВМ и интерфейсов подключения периферийного оборудования. Использование программ-мониторов позволяет создать особое обучающее пространство, вовлечь студентов в обсуждение широкого круга вопросов, касающихся функционирования периферийных интерфейсов, поведения устройств для выявления характеристик аппаратуры и логической организации ее взаимодействия с ядром компьютера.

Литература

1. Богодистова Е.С., Тельнов Г.Г., Воюев Ю.К. Анализ работы периферийных устройств с использованием программы-монитора USB // «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии»: Сборник трудов XVI международной научно-практической конференции. – М: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2019. – С. 30-35.
2. Богодистова Е. С. Воюев Ю.К. Формирование представлений о принципах работы шины и периферии USB в учебном процессе. В сборнике: ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕШЕНИЯ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА И ОБРАЗОВАНИЯ. Материалы национальной научно-практической конференции. Москва, 2020. – С. 12-25.
3. Богодистова Е.С. Анализ физической и логической организации интерфейса USB // «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии»: Сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции. – М: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2020. – С. 197-203.
4. Universal Serial Bus 3.2 Specification September 22, 2017 Revision 1.0 September 22, 2017. – 518 p. (www.usb.org)
5. Гук М. Ю. Шины PCI, USB и FireWire. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2005. – 540 с.

6. Jan Axelson. USB Complete: The Developer's Guide (Complete Guide series) Fifth Edition, Kindle Edition. 2015 – 770 p. (Axelson Jan. USB Complete: The Developer's Guide, Fifth Edition. Copyright 1999-2015 by Janet L. Axelson. [Электронный ресурс] http://janaxelson.com/usbc.htm (дата обращения: 28.06.2023)
7. Universal Serial Bus Specification Revision 2.0 April 27, 2000. – 621 p. (www.usb.org)
8. Advanced USB Port Monitor [Электронный ресурс] https://www.aggsoft.ru/usb-port-monitor/help/index.html (дата обращения: 15.06.2023)
9. Структура устройства с интерфейсом USB. [Электронный ресурс] http://perscom.ru/usb/102-usb-ustroistvo (Дата обращения 28.06.23)
10. Axelson Jan. USB Complete: The Developer's Guide, Fourth Edition. – Lakeview Research LLC Madison, WI 53704. Copyright 1999-2009 by Janet L. Axelson. 504 p. [Электронный ресурс] http://boxbox.ru/USB%20Complete%20Dev_Guide.pdf (дата обращения: 27.06.2023)
11. The Mass Storage Page. [Электронный ресурс] http://www.janaxelson.com/mass_storage.htm (дата обращения: 27.06.2023)
12. Universal Serial Bus Device Class Definition for Audio/Video Devices. Basic Device Profile (BDP). Release 1.0 June 12th, 2012. [Электронный ресурс] https://www.usb.org/sites/default/files/AV_BDP_v1.0.pdf (дата обращения: 28.06.2023)

ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ

Голицына И. Н.
Казанский (Приволжский)федеральный университет
Irina.Golicyna@kpfu.ru

В статье обсуждаются технологии электронного обучения, которые развиваются в современном информационном обществе на основе инфраструктуры Образования 4.0. Внедрение таких технологий, как мобильное и дистанционное обучение, смешанное и гибкое обучение приводит к трансформации образовательного процесса. Одновременно с этим происходит развитие новых технологий, таких как образовательная робототехника, иммерсивное обучение, геймификация, внедрение технологий искусственного интеллекта.
Ключевые слова: технологии электронного обучения, Образование 4.0

E-learning technologies in the modern information society. Golitsyna I. N., Kazan (Volga) Federal University
The article discusses e-learning technologies that are developing in the modern information society based on the Education 4.0 infrastructure. Implementation of such technologies, as mobile learning, distance learning, blended learning and flexible learning, leads to the educational process transformation. At the same time, new technologies are developing, such as educational robotics, immersive learning, gamification and AI technologies.
Keywords: e-learning technologies, Education 4.0

Введение

Согласно "Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы" [1], при реализации образовательных программ необходимо использовать и развивать дистанционные технологии и электронное обучение. В настоящее время после пандемии коронавирусной инфекции в образовательных организация происходит быстрое развитие цифровой образовательной среды (ЦОС) в рамках Федерального проекта «Цифровая образовательная среда» [2]. Формирование ЦОС создает условия для ускоренного внедрения электронного обучения в образовательный процесс, при этом персональная информационная образовательная среда обучаемых расширяет ЦОС за рамки учебных заведений.

Технологии электронного обучения переносят образовательных процесс в среду профессиональной деятельности ИТ-специалистов, поэтому к их использованию больше других подготовлены студенты и преподаватели связанных с ИТ направлений подготовки. В данной статье рассматривается использование технологий электронного обучения в образовательном процессе студентов в Казанском федеральном университете. В статье использованы опросы студентов в 2021 году [3] и 2023 году следующих направлений подготовки:

- 4 курс направления бакалавриата 09.03.04 Программная инженерия - 60 человек, апрель 2021 года;
- 2 курс направления бакалавриата 09.03.02 Информационные системы и технологии - 35 человек, май 2021 года;

- 4 курс направления бакалавриата 09.03.04 Программная инженерия - 55 человек, апрель 2023 года.

Технологии электронного обучения

В современном обществе технологии электронного обучения развиваются в рамках концепции Образование 4.0 (Education 4.0) – образования для подготовки специалистов для Индустрии 4.0 (Industry 4.0) [4]. В качестве элементов инфраструктуры Образования 4.0 можно выделить технологическую платформу, программное обеспечение, разработчиков учебного содержания, управление обучением и методы обучения.

К технологиям электронного обучения можно отнести мобильное обучение, дистанционное обучение, при использовании дистанционных технологий в традиционном учебном процессе развиваются смешанное и гибкое обучение. Помимо этого, происходит образовательная самоорганизация студентов в сетевых сообществах, на основе использования общедоступных образовательных и профессиональных ресурсов развивается самообразование студентов, в учебный процесс проникают элементы информального обучения.

С другой стороны, развитие новых технологий приводит к трансформации образовательного процесса в следующих направлениях [3]:

1. По мере расширения ЦОС за пределы учебных заведений реализуется обучение в любом месте и в любое время, развиваются технологически-опосредованные образовательные коммуникации.
2. Преподаватель выполняет функции организатора и фасилитатора образовательного процесса, управление обучением в новых технологиях передается программному обеспечению.
3. Учебное содержание разрабатывается как педагогическим, так и профессиональным сообществом.

В таблице 1 перечислены технологии, которые развиваются на основе элементов инфраструктуры Образования 4.0.

Таблица 1 - Технологии электронного обучения в инфраструктуре Образования 4.0

Инфраструктура технологий электронного обучения	**Элементы инфраструктуры в Образовании 4.0**	**Технологии электронного обучения**	**Развивающиеся технологии электронного обучения**
Технологическая платформа	Мобильные устройства (ноутбуки, смартфоны) Роботы	Мобильное обучение	 Образовательная робототехника
Программное обеспечение	Открытые платформы для онлайн-взаимодействия LMS (Learning Management Systems) MOOC (Massive Open Online Courses), облачные ресурсы Профессиональное программное обеспечение, IDE (integrated development environment) Социальное ПО Виртуальные среды Искусственный интеллект Образовательные игры	 Дистанционное обучение Смешанное обучение Гибкое обучение Образовательные коммуникации в социальных сетях	 Иммерсивное обучение Технологии искусственного интеллекта Геймификация

Управление обучением	Сотрудничество преподавателя и обучаемого. Открытые образовательные и профессиональные ресурсы ПО виртуальной и дополненной реальности Искусственный интеллект Игровой сценарий	Дистанционное обучение Смешанное обучение Гибкое обучение.	Робототехника Иммерсивное обучение Технологии искусственного интеллекта Геймификация
Учебное содержание	В качестве источников учебного содержания используются: ЭБС (электронные библиотечные системы) образовательные и профессиональные интернет-ресурсы ПО виртуальной и дополненной реальности Искусственный интеллект Игровое учебное содержание	Самообразование студентов Информальное обучение	 Иммерсивное обучение Технологии искусственного интеллекта Геймификация

Технологии электронного обучения широко применялись в образовательном процессе студентов ИТ-специальностей и до пандемии [3], но их ускоренное развитие произошло в условиях повсеместного карантина, когда дистанционное обучение стало единственно возможной формой обучения. Как показали наши опросы (рис.1), студенты сумели найти преимущества в дистанционном формате обучения, и лекции в дистанционном формате стали наиболее популярной формой учебных занятий среди студентов разных курсов

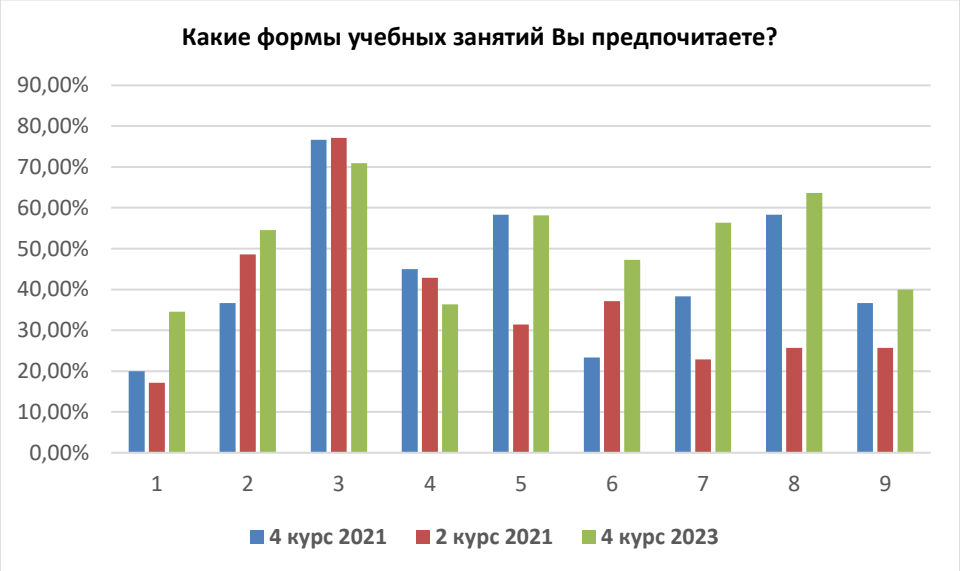


Рисунок 1 - Ответы студентов на вопрос «Какие формы учебных занятий Вы предпочитаете?»

Варианты ответов:

1. Традиционные лекции в аудитории
2. Традиционные семинары в аудитории
3. Лекции в дистанционном формате
4. Семинары в дистанционном формате
5. Проектную работу в малой группе

6. Самостоятельную работу за рамками аудитории
7. Выполнение индивидуальных заданий
8. Самостоятельную разработку программных приложений
9. Выполнение творческих заданий, для которых нет готовых решений

Как показывают опросы, все студенты используют мобильный интернет для образовательных целей, тем самым привнося в традиционный учебный процесс элементы мобильного обучения. Социальные сети являются для студентов привычным средством образовательных коммуникаций, для них студенты используют социальные сети ВКонтакте и Телеграм. Практически все студенты четвертого курса занимаются самообразованием с использованием открытых интернет-ресурсов, в том числе и социальных сетей, а в рамках учебного процесса около половины из них предпочитают самостоятельную работу (рис.1).

Большая часть студентов четвертого курса склоняются к формам и методам, характерным для информального обучения в цифровой среде [4]. Информальное обучение является составной частью обучения в течение всей жизни (lifelong learning). Формой информального обучения является обучение посредством выполнения какой-либо конкретной деятельности. Для ИТ-студентов такой деятельностью является разработка программных приложений, для разработки на мобильных устройствах они используют IDE, для решения возникающих проблем и профессиональных консультаций ими в том числе используются профессиональные интернет - ресурсы для программистов (Хабр и др.) Методы информального обучения подразумевают групповую учебную деятельность, больше половины студентов четвертого курса отдают предпочтение проектной работе в малых группах, где они совместно работают над ИТ- проектами.

Внедрение в традиционный учебный процесс дистанционных технологий создает условия для развития гибкого и смешанного обучения, эти технологии широко применяется преподавателями ИТ-дисциплин.

Наряду с технологиями электронного обучения, которые уже широко применяются в традиционном учебном процессе, на основе прогресса в аппаратном и программном обеспечении происходит развитие таких образовательных технологий, как иммерсивное обучение, образовательная робототехника, геймификация, использование технологий искусственного интеллекта. Данные технологии пока не нашли широкого применения в образовательном процессе, но происходит активная научно-исследовательская работа по их развитию. На кафедрах и в лабораториях Института информационных систем и интеллектуальных технологий К(П)ФУ уделяется большое внимание внедрению этих направлений в образовательный процесс, к этой работе привлекаются студенты, которые выполняют проекты в рамках научно- исследовательской работы [6-8].

Заключение

В рамках развития информационного общества в Российской Федерации на основе инфраструктуры Образования 4.0 происходит активное внедрение в образовательный процесс технологий электронного обучения. Как видно на примере подготовки студентов ИТ - направлений в К(П)ФУ, данные технологии активно используются студентами и преподавателями. Наряду с этим студенты включаются в процесс развития новых образовательных технологий, которые основаны на виртуальной реальности, геймификации, искусственном интеллекте и робототехнике.

Литература

1. Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 -2030 годы. / Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. N 203. - URL: https://sudact.ru/law/ukaz-prezidenta-rf-ot-09052017-n-203/strategiia-razvitiia-informatsionnogo-obshchestva-v/
2. Федеральный проект «Цифровая образовательная среда». / Минпросвещения России. - 2019. - URL: https://edu.gov.ru/national-project/projects/cos/
3. Голицына И.Н. Электронное обучение в трансформации образовательного процесса ИТ-специалистов. / Информационные технологии в образовании и науке (ИТОН-2023): материалы IX Международной научно-практической конференции в рамках IV Международного форума по математическому образованию (27 марта – 1 апреля 2023 г.). Казань: Изд-во Академии наук РТ. - 2023. – с. 51-58.
4. Голицына И.Н. Образование 4.0 в подготовке современных специалистов. / Международный электронный журнал” Образовательные технологии и общество". - 2020. - Т. 23. -№1. - с. 12-19.
5. Голицына И.Н. Информальное обучение как часть современного образовательного процесса. / Международный электронный журнал “Образовательные технологии и общество“. – 2018. – Т. 21. - №4. – с.344-350.

6. Khasianov A., Shakhova I., Ganiev B. Gamification in higher education: Kazan Federal University primer. / Proceedings of the 12th International Scientific Conference eLearning and Software for Education. ELEARNING VISION 2020. - 2016. - V. I. - p.519-522.

7. Tsoy T., Sabirova L., Abramsky M., Magid E. Establishing Effective Teaching for Robotics: a comparison study of Bachelor students participated in Introduction to Robotics course. / The 2018 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2018), Feb. 1-4, B-Con Plaza, Beppu, Oita, Japan. – p.212-215.

8. Kugurakova V. V., Golovanova I.I., Shaidullina A.R., Khairullina E.R, Orekhovskaya N.A. Digital Solutions in Educators' Training: Concept for Implementing a Virtual Reality Simulator. / EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education. – 2021. – V. 17.- No.9. – 10 p.

ЦИФРОВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ГУМАНИТАРНЫХ ДИСЦИПЛИН В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Рагимова Н. К., *Гусарова М. Н.
ФГБОУ МИРЭА (Российский технологический университет), Россия, *ФГБОУ «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия
rnk279@gmail.com, gusyan@bk.ru

Аннотация - В статье анализируются проблемы формирования и расширения цифровых компетенций у преподавателей гуманитарных дисциплин в технических университетах. Актуализируется необходимость активного применения в учебном процессе новых цифровых возможностей. Авторы статьи вскрывают проблемы, которые стоят на пути цифровизации высшего образования и предлагают свои пути решения, в частности, через реализацию соответствующих проектов в национальном масштабе.

Ключевые слова: гуманитаризация, гуманитарная составляющая, высшее техническое образование, цифровизация, компетенции, технологии

Digital competencies of teachers of the humanities at a technical university. Ragimova Nargiz Kamil kizi, *Gusarova Maria Nikolaevna, FSUE MIREA (Russian Technological University), Russia, * FGBOU National Research University "MEI", Russia

Abstract: The article analyzes the problems of the formation and expansion of digital competencies among teachers of the humanities at technical universities. The need for active use of new digital opportunities in the educational process is being updated. The authors of the article reveal the problems that stand in the way of the digitalization of higher education and offer their own solutions, in particular, through the implementation of relevant projects on a national scale.

Keywords: humanization, humanitarian component, higher technical education, digitalization, competencies, technologies

На современном этапе развития системы высшего технического образования акцент государственной политики в значительной мере сместился в сторону переосмысления и расширения в учебном процессе гуманитарной составляющей. В частности, речь идет о включении в учебные планы нового курса «Основы российской государственности» и увеличении в два раза часов на дисциплину «История». Очевидно, что такие изменения произошли не случайно, они давно назревали в высшей школе. Гуманизация и гуманитаризация высшего образования, как модный мейнстрим 1990-х годов, к концу первого десятилетия XXI века, себя исчерпал. Сформировался стабильный и неизменный перечень урезанных гуманитарных и общественных дисциплин (история, философия, культурология, социология или политология, деловая этика), не позволявший в полной мере сформировать у студентов заявленные компетенции. Происходящая на наших глазах трансформация гуманитарной составляющей в наполнении образовательной траектории может стать уникальной возможностью изменить сложившуюся ситуацию. Однако, если в 90-е годы прошлого века перед гуманитарными дисциплинами стояли задачи всестороннего развития студента, то в настоящее время они призваны сформировать у обучающихся новые ценностные паттерны, обусловленные стремительной цифровизацией, а также глобальными изменениями в сфере международных отношений.

Очевидно, что использование цифровых инструментов и технологий в учебном процессе при преподавании гуманитарных дисциплин, не роскошь, а необходимость. Новое поколение студентов легко ориентируется в цифровом мире, в частности, активно использует искусственный интеллект при выполнении различных видов работ и домашних заданий. Время простого скачивания размещенных в интернете рефератов уходит в прошлое. Достаточно поставить задачу перед ChatGPT, неважно какую (эссе, реферат, решение кейса) и она будет выполнена в кратчайший срок. С учетом не слишком высоких

требований к подобным работам, а чаще всего требуется их фактическое наличие с выполнением минимального набора критериев, студенты без особого труда способны справиться с заданием, совершенно не погружаясь при этом в тему исследования. И в этом кроется серьезная проблема, поскольку такое изучение дисциплины является еще более поверхностным и вряд ли приведет к формированию соответствующих компетенций. Безусловно, в такой ситуации очень многое зависит от уровня цифровых компетенций, которыми обладает преподаватель. Ему необходимо постоянно использовать в обучении различные цифровые инструменты, а также отказаться от традиционных письменных работ, даже, если они сопровождаются презентациями. Пришло время виртуальных книг, квестов, тестов, инфографики при создании которых следует варьировать применение различных цифровых инструментов, от самых простых (например, доска Jamboard) до более сложных (например, онлайн инструмент для удаленного обучения Genialy.ly и др.). Можно поставить перед студентами задачу выполнить работу в виде инфографики, но если преподаватель сам не владеет этим навыком, то вряд ли у него получится их заинтересовать и добиться выполнения работы на высоком уровне.

Представляется правомерным, в этой связи говорить о необходимости государственной политики по наращиванию цифровых компетенций вузовских преподавателей. Об этом много говорится и пишется, но проблема чаще всего остается на локальном уровне, ее решение зависит от финансовых возможностей вуза. Речь, при этом, идет не только об обучении, но и соответствующем обеспечении аудиторного фонда (наличие выхода в интернет, мультимедийного оборудования, экранов, необходимого количества серверов, операционных систем, безопасности и т.п.), создании в вузе цифровой экосистемы.

Проанализируем, что подразумевается под дефиницией «цифровые компетенции. В специализированной и публицистической литературе достаточно много определений. Остановимся на одном из них, а именно: цифровые компетенции - это способность индивида уверенно, эффективно, критично и безопасно выбирать, применять, создавать и распространять цифровой контент, решать сложные задачи в цифровой среде (например, проектные и бизнес-задачи), применять компьютерное программирование (хотя бы на уровне создания простейших сайтов) в различных сферах жизнедеятельности (профессиональной, общественной, частной) [1,2].

Можно с уверенностью утверждать, что весьма небольшая часть профессорско-преподавательского сообщества соответствует этим критериям. Хотя, конечно, этот показатель значительно выше, чем по стране. Так, например, по результатам исследования, проведенного в 2020 г. НАФИ, доля российских граждан, обладающих цифровой грамотностью и ключевыми компетенциями цифровой экономики не превышала в среднем 30% [1]. Обращает внимание тот факт, что участвовавшие в исследовании респонденты, в целом признавали высокую значимость компетенций в цифровой среде, таких было чуть больше половины (65% респондентов). В тоже время готовность пройти дополнительное обучение в области цифровой грамотности выразили в основном те респонденты, у кого она и без того находилась на довольно высоком уровне.

Представляется правомерным обратиться также к исследованию НИУ ВШЭ, которое проводилось на базе Выборочного федерального статистического наблюдения по вопросам использования населением информационных технологий и информационно-телекоммуникационных сетей за 2016–2019 гг. Результаты этого исследования в значительной мере раскрывают уровень цифровой грамотности российского общества, отражают динамику изменений её основных критериев [3, С.27-36]. Оно, в частности, выявило: зависимость сформированности информационно-коммуникационных навыков от образования и возраста респондентов (чем выше уровень образования и меньше возраст респондентов, тем выше их информационно-коммуникационные навыки), а также от места их проживания (город или сельская местность); уровень владения тремя основными ИКТ-навыками (умение работать в текстовом редакторе, умение создавать электронные таблицы, умение создавать электронные презентации) в период 2016-2019 практически не изменился, независимо от наличия либо отсутствия Интернета и персонального компьютера (владение навыком работы с текстовым редактором подтвердили около 50% опрошенных, электронными таблицами – 30%, электронными презентациями – около 10%). Этот уровень цифрового разрыва, во-многом, обусловлен неравенством в уровне знаний и навыков при использовании персонального компьютера и «всемирной паутины». Представляется важным отметить, что исследование выявило низкий, а зачастую катастрофически низкий, уровень владения такими ИКТ-навыками как работа с текстовым редактором, электронными таблицами, отправка и получение электронной корреспонденции. Было также выявлено, что у ряда респондентов имеются затруднения при работе с онлайн-приложениями банков, поиском информации в интернете, загрузкой информации в социальные сети. Обнаружилось, что примерно 2-4% участников исследования испытывали серьезные проблемы с получением государственных услуг в электронном виде. Отметим, что на Москву и Центральный Федеральный округ приходится наибольшая доля населения, которая активно использует интернет для получения государственных и муниципальных услуг, 82% и 67% соответственно. Хуже всего обстоит дело в Магаданской области, там эта доля населения составляет всего – 15%.

Представляется правомерным, привлечь к анализу заявленной в статье проблемы результаты проведенного НИУ ВШЭ исследования по оценке цифровых навыков населения [3, С.37-58]. Результаты авторы исследования сгруппировали по пяти направлениям и трем уровням (базовый, средний, продвинутый). Направления были выделены следующие: информационная грамотность; коммуникации и взаимодействие; создание цифрового контента; безопасность; решение проблем. Из массива полученных результатов интерес вызывает тот факт, что только около 60% опрошенных респондентов определили свой уровень цифровой грамотности как базовый. Половина опрошенных участников заявили, что они владеют компетенцией по информационной грамотности. Треть респондентов отметили, что их компетенции по информационной грамотности находятся на среднем уровне (следующий после базового). Это значит, что они умеют управлять данными и осуществлять их анализ с помощью программного обеспечения; активно используют функцию расширенного поиска при работе с информацией и пр. Однако, по остальным блокам цифровых навыков были выявлены значительно более низкие показатели. Например, владение компетенциями по коммуникации и взаимодействию на среднем уровне отметили у себя только 9% респондентов. Чуть более 20% респондентов заявили, что обладают компетенциями по решению проблем на среднем уровне.

Для оценки продвинутого уровня цифровых компетенций блок компетенций по информационной грамотности был исключен. Исследование выявило, что 23% респондентов обладают компетенциями по коммуникации и взаимодействию на продвинутом уровне, а 43% респондентов не обладают ими вовсе. Компетенциями по созданию цифрового контента, по безопасности и по решению проблем на продвинутом уровне обладают соответственно 7%, 15% и 11,5% опрошенных респондентов.

Таким образом, оценка цифровой грамотности населения Российской Федерации в возрасте от 18 до75 лет), выявленная в ходе проведенного НИУ ВШЭ исследования, показала, что лишь немногим более половины респондентов (59%) обладают базовым уровнем цифровой грамотности, пятая часть опрошенных – средним и всего 3% респондентов продвинутым уровнем цифровой грамотности.

Правомерно, на наш взгляд, обратить внимание на приведенные в докладе НИУ ВШЭ «Оценка цифровой готовности населения», результаты анализа цифровой готовности населения. А именно: они подтвердили наличие разрыва в уровнях цифровых компетенций, обусловленного уровнем образования, возрастом, местом проживания, активностью в использовании интернета, уровнем доходов, принадлежностью к определенной социально-профессиональной группе. Выявлены также различия в уровнях представления об основных цифровых и сквозных технологиях (большие данные, цифровые платформы, искусственный интеллект, интернет вещей) в зависимости от уровня доходов и материального благосостояния респондентов. Исследователи обнаружили, что в то время, когда отдельные группы граждан ничего не знают о современных цифровых технологиях, другие уже активно используют их в своей профессиональной деятельности. Так, например, лишь треть респондентов ответила, что знает чат-ботах, интернете вещей, 3D печати, искусственном интеллекте и роботах. Четверть опрошенных заявили о том, что слышали о больших данных и цифровых платформах. Слабое или отсутствие каких-либо представлений о цифровых инструментах и технологиях было характерно в целом для 15% респондентов, а доля тех, кто глубоко разбирается колебалась в среднем около 5-6% соответственно [3, С.67-73].

Солидаризируемся с выводами исследователей НИУ ВШЭ, о том, что уровень цифровой готовности населения к использованию цифровых сервисов и технологий, во многом, зависит от уровня владения цифровыми компетенциями. Ведь чем выше уровень цифровой грамотности пользователей, тем чаще они используют цифровые технологии не только в профессиональной сфере, но и в обычных жизненных практиках; активно интересуются вопросами безопасного применения цифровых сервисов государственных и коммерческих организаций. Нельзя не отметить, что за последние пять лет уровень цифровой грамотности преподавательского сообщества значительно возрос. В настоящий момент такие форматы как удаленная работа (чтение лекций в дистанционном формате, работа с текстовым редактором, электронными таблицами и досками, проверка электронных работ, ввод в электронные системы вузов рабочих программ дисциплин, электронный документооборот, прочно укоренившийся в вузе), наполнение облака различным обучающим контентом, работа с обучающими приложениями и пр. большинством преподавателей активно применяются. И ситуация здесь, не в пример лучше, чем в целом по стране.

Правомерно, на наш взгляд, утверждать, что крайне невысокий уровень владения цифровыми компетенциями обусловлен, в частности, возрастными диспропорциями в российском обществе (много пожилых людей и мало молодежи). Как показывают последние исследования почти треть преподавательского состава вузов России старше 60 лет, и за последние три десятка лет их доля выросла почти в 4 раза, в то время как количество молодых составляет минимум с 1988 года. Интересно, что максимальный средний возраст наблюдается у профессоров - 61-62 года, а минимальный у ассистентов - 35 лет. Кроме того, средний возраст вузовских преподавателей (49,9 лет в 2020 году) оказался на 20%, или примерно на 8 лет, больше, чем у остального занятого населения (41,6 лет в 2020 году) [4]. Собственно, говоря рост цифровых компетенций вузовских преподавателей напрямую связан с привлечением молодежи, способной быстро интегрироваться в цифровую экосреду.

Хотя и с созданием последней немало сложностей. Так, например, исполнение проекта «Цифровые кафедры», который реализуется в рамках федерального проекта «Развитие кадрового потенциала ИТ-отрасли» НП «Цифровая экономика РФ», встречает немало препятствий на своем пути. Согласно постановлению Правительства от 14.03.2022 № 357, под «цифровой кафедрой» понимается процесс получения дополнительного профессионального образования параллельно с освоением основных профессиональных образовательных программ, обеспечивающий формирование цифровых компетенций в области создания алгоритмов и программ, пригодных для практического применения, или навыков использования и освоения цифровых технологий, необходимых для выполнения нового вида профессиональной деятельности. Однако, в ходе реализации, а изначально в проект попали победители конкурса «Приоритет – 2030» в 2021 г., которые были обязаны в 2022 г. запустить курс дополнительного образования, «обеспечивающий формирование цифровых компетенций в области создания алгоритмов и программ или навыков использования и освоения цифровых технологий», вузы-участники столкнулись с низкой мотивацией студентов, которых привлекали к обучению, а также с недостатком обученных преподавательских кадров. Во многом, проект забуксовал, несмотря на смягчение условий со стороны Минобрнауки.

Безусловно, трудности всегда будут присутствовать. Главное, их понимание и преодоление. Развитие цифровых компетенций у преподавателей гуманитарных дисциплин задача многофакторная. Она требует выработки четкой государственной политики по ее решению, привлечение значительных финансовых средств для повышения заинтересованности и мотивированности у преподавателей. Должны быть гибкие программы дополнительного образования, повышения квалификации, материальное стимулирование. Реализация этих направлений возможно только в рамках развития общей концепции высшего технического образования, выработки четкого понимания каких специалистов готовит высшая школа и для какой экономики.

Произошедшие за три последних десятилетия кардинальные изменения государственных и общественных институтов России, системы управления, экономики, сферы образования, культуры, трансформация национального самосознание потребовали становления и принципиально новой системы инженерного образования, подготовки в технических вузах всесторонне развитых и высокоэрудированных специалистов с ориентацией на социальные факторы развития нашего общества. Очевидно, что развивающемуся современному обществу интересны современные образованные, предприимчивые, нравственные люди, которые могут самостоятельно принимать ответственные решения в ситуации выбора, прогнозируя их возможные последствия; люди, способные к сотрудничеству, отличающиеся мобильностью, динамизмом, конструктивностью, обладающие развитым чувством ответственности за судьбу страны. Сбалансированные требования к выпускнику вуза, его профессионализму, фундаментальной образованности, специальной (теоретической и практической) подготовке, осознанному отношению к труду и ответственности перед обществом за результаты своей профессиональной деятельности включают в себя и формирование новых подходов к преподаванию гуманитарных дисциплин, в числе которых активное использование цифровых инструментов и технологий. Современная образовательная парадигма построена на том, что преподаватель и студент «играют на равных», вот почему цифровые компетенции преподавательского состава должны быть постоянно «на высоте», не допуская тем самым дисбаланса учебного процесса.

Литература

1. Цифровая грамотность россиян: исследование 2020. [Электронный ресурс] https://nafi.ru/analytics/tsifrovaya-gramotnost-rossiyan-issledovanie-2020/ (дата обращения:03.12.2021)
2. Савка О.Г., Гусарова М.Н., Сумина С.В., Князев Я.О., Безруков Д.А. Модель формирования цифровых компетенций при реализации программ высшего образования. *Russian Technological Journal*. 2022;10(6):78-90.
3. Оценка цифровой готовности населения. Доклад НИУ ВШЭ. М.: Издательский дом высшей школы экономики, 2021.
4. Электронный ресурс https://ria.ru/20230602/pedagogi-1875854448.html

МОДЕЛЬ ЗАЩИЩЕННОГО ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ЦИФРОВЫХ ПОРТФОЛИО ОБУЧАЕМЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Деев М.В., Финогеев А.Г, Грушевский А.А., Игошин И.В.
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»,
+7 (960) 318-35-66, miqz@yandex.ru

В статье рассмотрены процедуры формирования, хранения и обработки цифровых портфолио обучаемых в процессе жизненного цикла подготовки, включая этапы поступления в учебное заведение, освоения образовательной программы по выбранному направлению до получения квалификации специалиста. В цифровом портфолио накапливаются сведения об успеваемости и посещаемости обучаемых, результатах их учебной, научной и проектной деятельности, личных достижениях в процессе обучения и данные об участии в общественной жизни. Для хранения информации цифрового портфолио используется межпланетарная файловая система (IFPS), а процесс освоения компетенций и их оценки фиксируется посредством транзакционных операций в распределенном реестре (блокчейн) платформы Ethereum. Для валидации процесса освоения компетентностных требований и принятия решений по переводу обучаемых на следующий уровень применяются разработанные смарт-контракты, которые реализуют функции обработки и верификации результатов оценивания знаний будущих специалистов. Цифровое портфолио обучаемых включает открытую и закрытую части, для идентификации и доступа к которым используется технология хэширования.

Ключевые слова: цифровое портфолио, блокчейн, IFPS, защищенное хранение, смарт-контракты.

Model of secure data storage and processing in students' digital portfolio for information and educational environment. Deev M.V., Finogeev A.G., Grushevsky A.A., Igoshin I.V. Penza State University.

The article discusses the procedures for the formation, storage and processing of digital portfolios of students in the process of the life cycle of training, including the stages of admission to an educational institution, mastering the educational program in the chosen direction until obtaining the qualification of a specialist. The digital portfolio accumulates information about the progress and attendance of students, the results of their educational, scientific and project activities, personal achievements in the learning process and data on participation in public life. The interplanetary file system (IFPS) is used to store digital portfolio information, and the process of mastering competencies and their assessment is recorded through transactional operations in the distributed registry (blockchain) of the Ethereum platform. To validate the process of mastering competency requirements and make decisions on transferring trainees to the next level, developed smart contracts are used that implement the functions of processing and verifying the results of assessing the knowledge of future specialists. The digital portfolio of students consist public and private sections, for identification and access to which hashing technology is used.

Keywords: digital portfolio, blockchain, IFPS, secure storage, smart contracts.

Введение

Цифровое портфолио представляется собой постоянно пополняемый информационный образ или цифровой след обучаемого в информационно-образовательной среде учебного заведения, включая его персональные данные, сведения об освоении им образовательной программы образовательной, проектной и научной деятельности, посещаемости занятий, результатах аттестации, общественной и спортивной деятельности и т.п. В ходе изменения данных осуществляется процесс актуализации цифрового портфолио, которое формируется для абитуриента при его поступлении в учебное заведение, пополняется при обучении по образовательной программе и окончательно оформляется после защиты дипломной работы для конкретного уровня подготовки.

Цифровое портфолио является не только формой накопления информации о квалификации и компетенциях будущего специалиста, но и способом оценки результатов образовательной деятельности в рамках конкретного направления и для учебного заведения в целом, благодаря анализу статистик с результатами аттестации обучаемых. Доступность открытой части портфолио для потенциальных работодателей и кадровых агентств с описанием образовательных достижений обучаемых может мотивировать будущих специалистов к повышению их квалификации и профессионального рейтинга, а также повышает конкурентоспособность конкретных учебных заведений на региональных рынках труда. Преподаватели и администрация учебных заведений посредством анализа результатов обучения и достижений обучаемых в портфолио могут вести мониторинг их индивидуального развития, а потенциальные работодатели, родители и/или лица, оплачивающие обучение, могут контролировать процесс обучения.

Преподавательский и административный персонал на уровнях кафедр, деканатов, институтов и университета в целом на основании рейтинговой оценки, формируемой по достижениям и результатам обучения может применять различные способы поощрений обучаемых, такие как повышенная стипендия, финансирование участия в мероприятиях, определение лучших студентов, отбор кандидатов на получение именных стипендий, предоставление мест в общежитиях, отбор участников для программ академической мобильности и стажировок, учет достижений при поступлении на программы следующего уровня обучения, награды и гранты для научно-исследовательской деятельности, предоставление материальной помощи и социальных выплат и т.п. В случае наличия академических задолженностей, нарушений дисциплины учебного заведения и т.п., такие данные также фиксируются в цифровом портфолио и служат основанием для применения различного вида наказаний и дисциплинарных взысканий.

В последнее время в практику многих учебных заведений входит проведение аттестации по конкретным компетенциям, формируемым в процессе обучения по различным дисциплинам и зафиксированных в рабочих программах и матрице компетенций по основным профессиональным образовательным программам (ОПОП). Анализ результатов таких аттестаций позволяет выявить проблемы формирования востребованных компетенций как в целом по направлению подготовки, так и по конкретным дисциплинам. Внесение результатов аттестаций по компетенциям в цифровое портфолио обучаемых позволят оценить качество и эффективность формирования компетенций, что важно для администрации ВУЗа и потенциальных работодателей.

Программно-инструментальные средства хранения и обработки цифровых портфолио

Основной технологией формирования и хранения цифровых портфолио, как правило, является централизованная база данных с авторизированным предоставлением доступа для разных групп лиц посредством Web интерфейса. Более современным подходом можно считать децентрализованное хранение информационных блоков данных в виде распределенного реестра (блокчейн). Проблемой централизованных хранилищ данных является их криптографическая стойкость, которая снижается с течением времени, а также незащищенность от распределенных DoS атак и спама. В децентрализованной базе нет центрального хранилища, блоки данных распределены между сетевыми узлами, а новые денные могут быть добавлены в блоки посредством транзакционных взаимодействий.

Для надежного хранения информации в таких базах востребована технология блокчейн. Цепочка блоков представляет собой распределенную базу данных, где информация записывается в блок, связанный с предыдущим посредством хэш идентификатора. Цепочка хранится на сетевых узлах и образует распределенный реестр данных. Новые блоки добавляются только в конец цепочки. При добавлении нового блока обновляются копии всех блоков на каждом узле. При этом согласие на добавление нового блока в блокчейн должны подтвердить большинство узлов, которые хранят копии блоков, что называется достижением консенсуса. После добавления блока любое изменение записей внутри него невозможно, поскольку хэш идентификатор вычисляется на основе интегрированного хэша данных текущего и хэша идентификатора предыдущего блоков.

Внедрение технологии в систему электронного документооборота позволяет повысить достоверность информации, автоматизировать процессы контроля исполнения договоров, вести мониторинг этапов исполнения их этапов. В статье [1] приводится пример реализации технологии для управления цифровыми идентификаторами электронных документов. В работах [2,3] анализируются возможности применения технологии распределенного реестра в системах умного города, интеллектуального транспорта, электронного здравоохранения и других отраслей.

Упрощенно технологию блокчейн можно рассматривать как защищенный распределенный реестр данных общего пользования, в котором реализован учет операций с данными (транзакций) в одноранговой P2P сети. В образовательной сфере распределённый реестр – это эффективный инструментарий хранения персональных данных обучаемых и сотрудников учебных заведений (цифровых портфолио) в открытом информационно-образовательном пространстве. Реестр используется для записи истории транзакций между узлами сети, записываемых в связанные информационные блоки. Пользователи видят только транзакции, которые выполняются над данными, владельцами которых они являются.

В образовательной среде предлагается использовать распределенный реестр для организации системы хранения и учета цифровых портфолио обучаемых, а также оценки и контроля процесса освоения общепрофессиональных и профессиональных компетенций в процессе обучения. В качестве базовой платформы предлагается использовать технологию блокчейна Ethereum. Выбор обусловлен тем, что данная платформа с открытым исходным кодом решает широкий класс задач с использованием технологии смарт-контрактов и позволяет создать пополняемый реестр для хранения портфолио обучаемых на всех этапах образования. Записи о фактах формирования и получения документа об образовании (сертификата, аттестата, диплома и т.п.) с подтверждением его подлинности смарт-контрактом регистрируются в реестре учреждения, выдавшего документ. Проблема авторизации решается за счет использования механизма ассиметричной криптографии с открытым и закрытым ключами. В качестве метода вычисления хэша для цифровой подписи используется криптографический алгоритм на эллиптических кривых (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm - ECDSA).

Обеспечение целостности данных портфолио в реестре решается методом двойного хэширования. Предположим, что после операции по добавлению данных обнаруживается ошибка: для двух последовательных блоков в блокчейн хэш первого блока не соответствует значению, хранящемуся во втором блоке. Это означает, что запись повреждена, что обнаруживается после вычисления и сравнения хэшей. Остается проблема определения модифицированной записи. Для решения применяется способ двойного хэширования. Связи последовательных блоков реестра обеспечиваются двумя хэшами, которые вычисляются для основной части блока и для метаданных. При этом каждый из частей блока используется для вычисления хэша другой части. Затем полученный хэш вставляется в заголовок другого блока по

аналогии с водяным знаком электронного документа. Если хэш не обнаружен в блоке или не совпадает после вычисления, то это означает, что блок был модифицирован.

Проверка подлинности цифровых подписей блоков данных выполняется на шаге валидации портфолио. Процедура необходима для выявления неавторизованных, поддельных или скомпрометированных портфолио с целью добавления их в черный список.

Порядок сбора и формирования множества блоков данных для каждого портфолио обучаемого реализуется посредством блокчейн Ethereum с добавлением, считыванием, контролем и валидацией данных с помощью смарт-контрактов. Блок генерируется и заполняется в результате транзакций по сбору и проверке данных. После заполнения он реплицируется между серверными узлами и выполняется поиск его хэша (майнинг) согласно алгоритму Eth-Hash. Затем он соединяется с предыдущим блоком в реестре после вычисления хэш функции.

Основным преимуществом Ethereum являются возможность внедрения и организации работы смарт-контрактов в блокчейн. Смарт-контракт - это программный код, который позволяет выполнять операции над переменными и проверять условия их выполнения в виде транзакций. Смарт-контракт состоит из переменных, методов setter и getter с модификаторами доступа. Методы setter изменяют данные, в методы getter только извлекают их. Блокчейн Ethereum также позволяет хранить данные блока через переменные смарт-контракта. Проблема в том, что такое хранение требует значительных затрат и по мере увеличения объема данных возрастает стоимость загрузки транзакций в блокчейн.

Основная проблема технологии заключается в том, что количество обучаемых даже в региональном учебном заведении достаточно велико и постоянно растет. Множество цифровых портфолио должно сохраняться и быть доступно на всех этапах обучения, а также в случае перевода обучаемого в другое учебное заведение, в случае изменения или повышения квалификации, перехода на новый уровень обучения, переподготовки и т.д. Поэтому при использовании технологии блокчейн возникает проблема вычислительных и временных затрат на хранение и обработку больших данных. Все данные должны быть реплицированы на сетевые узлы в информационной среде учебного заведения, что не всегда возможно и может быть неприемлемо с точки зрения безопасности информационно-образовательной среды. Также недостаток Ethereum связан с жесткими ограничениями на переменные, чтобы препятствовать DDoS атакам.

Поэтому для хранения множества портфолио, представленных в виде блокчейн, выбрана технология межпланетарной файловой системы (InterPlanetary File System – IPFS) Так как сеть IPFS является проектом с открытым исходным кодом, то мультиплатформенный клиент и другие приложения для работы с ней распространяются бесплатно. Блоки цифровых портфолио постоянно подгружаются в IPFS-сеть после хэширования, а их хэши хранятся в блокчейн. Сеть представляет собой распределенное хранилище портфолио, а блокчейн – реестр хэшей. Для синтеза хэш-адреса создается электронный кошелек, позволяющий выполнять транзакции по добавлению новых данных цифрового портфолио. В качестве идентификатора цифрового портфолио в IPFS используется мультихэш SHA256.

Заключение

Результатом исследований является метод децентрализованного хранения портфолио обучающихся в образовательной среде на основе технологии распределенного реестра и блокчейн. Недостатком подхода следует отметить вычислительную сложность применения блокчейн для создания и поддержки большого количества цифровых портфолио специалистов в электронной информационно-образовательной среде. Более целесообразно реализовать компоненты данной технологии, в частности функции распределенного реестра и хэширование идентификаторов портфолио для построения репозитория данных и механизм цифровых подписей для сертифицированной защиты персональных данных. Для поддержки взаимодействий в информационно-образовательном пространстве рекомендуется использовать следующие компоненты технологии блокчейн: распределенный реестр, хэширование, смарт-контракты, децентрализованные приложения для обработки данных. Для оптимизации процесса администрирования цифровыми портфолио применяется разделение информационного пространства данных на открытую и закрытую части, доступ предоставляется с помощью технологии хеширования. Каждая часть реестра цифровых портфолио определяет свой способ доступа к данным и поддерживает свою архитектуру. Преимуществом подхода является отсутствие необходимости выполнения сложной вычислительной, затратной по времени задачи «доказательства работы» по алгоритму Proof-of-Work. Вместо этого применяются более простые алгоритмы достижения консенсуса с сертифицированными участниками, прошедшими проверку подлинности, например, Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT).

Основным результатом исследования является синтез платформы на основе блокчейн, включающей смарт-контракты и межпланетарную файловую сетевую среду для перехода от технологии классического распределенного реестра к многоуровневой системе управления цифровыми портфолио, обеспечивающей поддержку жизненного цикла непрерывной подготовки специалистов.

Благодарности

Результаты исследований получены при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ) и Пензенской области (проект № 22-21-20100).

Литература

1. lnes S., Jansen A. Blockchain technology as s support infrastructure in e-government. International conference on electronic government. Springer, Cham, 215–227 (2017).
2. Vardan Mkrttchian, Sergey Vasin, Leyla Gamidullaeva, and Alexey Finogeev The Impact of Blockchain Technology on the Smart City Industry. ACM International Conference Proceeding Series. In IV International Scientific and Practical Conference (DEFIN-2021). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 85, 1–5 (2021). DOI:https://doi.org/10.1145/3487757.3490940.
3. Md Ashraf Uddin, Andrew Stranieri, Iqbal Gondal, Venki Balasubramanian A survey on the adoption of blockchain in IoT: challenges and solutions. Blockchain: Research and Applications, 2:100006 (2021).

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ДОСТОВЕРНОСТИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Жебель В.А.*, Солдатов.А.И.**
*Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация, **Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Российская Федерация
*+7(982) 137-69-50 vladzhebel@yandex.ru,
**asoldatof@mail.ru

Статья посвящена определению достоверности данных, передаваемых по сети и их оценке. В статье излагается статистика хакерских атак в 2021/2022 году в Российской Федерации и в мире на различные уровни. Рассмотрены различные периоды, составлены графики этих кибератак, описаны тенденции роста вредоносных программ. Специальное внимание в статье уделяется различным подходам определения достоверности данных передаваемых по сети, а также описывается инструментарий данных подходов. Освещены четыре подхода оценки и определения достоверности данных: анализ сетевого трафика с использованием статистических методов, использование алгоритмов машинного обучения, использование специальных инструментов и программного обеспечения для мониторинга и анализа сетевого трафика. Также предлагается подход, основанный на объединении нескольких подходов, что позволит оценивать и проверять достоверность передаваемых данных.

Ключевые слова: сетевой трафик, уязвимость, кибератака, стек протокола TCP/IP, хакерские атаки.

General approaches to assessing the reliability of network traffic. Zhebel V.A.*, Soldatov.A.I.**, *Surgut State University, Surgut, Russian Federation, **Surgut State University, Surgut, Russian Federation, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation

The article is devoted to determining the reliability of data transmitted over the network and their evaluation. In confirmation of this idea, the article presents the statistics of hacker attacks in 2021/2022 in the Russian Federation and in the world at various levels. Various periods are considered, graphs of these cyberattacks are compiled, and trends in the growth of malware are described. Special attention is paid in the article to various approaches to determining the reliability of data transmitted over the network, and also describes the tools of these approaches. Four approaches to assessing and determining the reliability of data are highlighted: network traffic analysis using statistical methods, the use of machine learning algorithms, the use of special tools and software for monitoring and analyzing network traffic. An approach based on combining several approaches is also proposed, which will allow evaluating and verifying the reliability of the transmitted data.

Keywords**:** network traffic, vulnerability, cyberattack, TCP/IP protocol stack, hacker attacks.

Введение

При проведении исследования по анализу и по защите данных сетевого трафика необходимо следить за тенденцией киберугроз. Так, например, согласно отчету компании, Positive Technologies название отчета «Актуальные киберугрозы: итоги 2022 года» дата публикации 29 марта 2023, общее количество инцидентов в 2022 году увеличилось на 20,8% (рис.1). В исследовании выделены только успешные кибератаки (инциденты), оказавшие негативное влияние на предприятия и частных лиц. Отчасти это объясняется ростом рынка киберпреступлений. Злоумышленники расширяют свой теневой бизнес. С другой стороны, масштабные утечки данных позволяют проводить атаки с использованием скомпрометированной пользовательской информации; в 2023 году количество атак будет расти по тем же

причинам. Если рассматривать основные тенденции 2022 года, то доля инцидентов, затрагивающих веб-ресурсы организации, увеличилась с 17% до 22% по сравнению с результатами 2021 года. Основным объектом атак стали государственные организации, причем количество успешных атак на веб-сайты увеличилось более чем в два раза. Масштабные утечки информации были очень распространены в 2022 году, и в течение этого периода различные компании и их клиенты сообщали о многочисленных утечках данных.

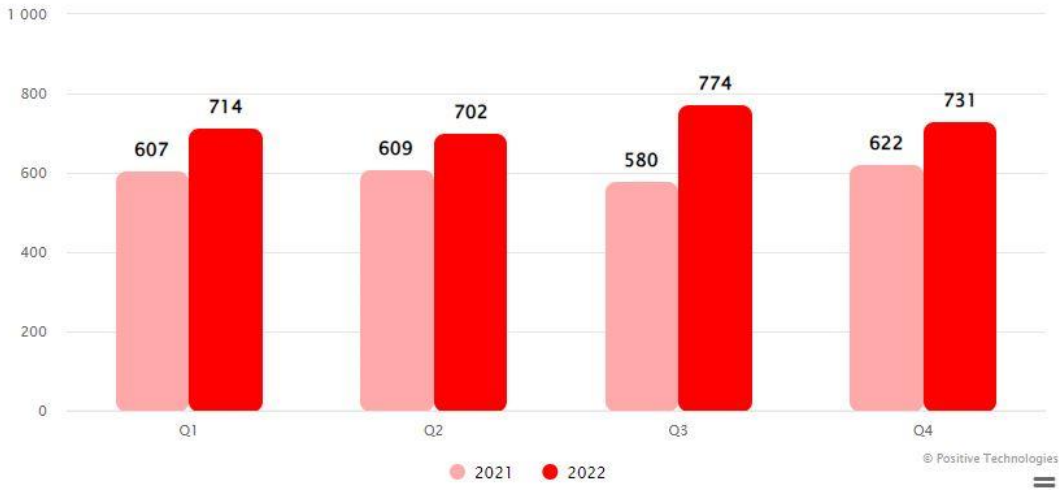


Рисунок 1 - Количество инцидентов в 2021 и 2022 годах (по кварталам)

В 47% атак на организации и в 64% атак на частных лиц злоумышленникам удалось похитить конфиденциальную информацию. Растет число случаев использования шпионского ПО, особенно при атаках на частных лиц. К концу 2022 года в каждой второй атаке на пользователей будут использоваться эти вредоносные программы. Продолжает развиваться шифровальное ПО, на долю которого приходится 51% вредоносных программ, используемых в атаках на организации; вредоносные программы, используемые в 2022 году, были переписаны на кроссплатформенных языках, причем увеличилось количество версий, нацеленных на операционные системы Windows и Linux; в 2022 году распространились вредоносные программы для стирания данных (vipers), некоторые из которых были замаскированы под средства шифрования. Наибольшая доля атак на организации (43%) и частных лиц (93%) приходится на социальную инженерию. В основном это связано с распространением модели "фишинг как услуга". При атаках на частных лиц злоумышленники активно используют социальные сети и мессенджеры, а инциденты, затрагивающие организации, свидетельствуют об успешных атаках на второй элемент аутентификации. Атаки на ИТ-компании привели к взлому инфраструктуры клиентов и нарушению их обслуживания. Все чаще это приводит к межотраслевым последствиям, например, к нарушению бизнес-процессов. Криптовалюты продолжают набирать популярность, и появляется все больше проектов, основанных на технологии блокчейн. Злоумышленники не остаются в стороне. По сравнению с 2021 годом количество атак на блокчейн-проекты увеличилось более чем в два раза [1].

Постановка проблемы

Поэтому защита и анализ достоверности передаваемых по сети данных является важной частью передачи трафика и защиты от злоумышленников. Оценка достоверности сетевого трафика и определение критериев могут быть достигнуты с помощью различных методов и подходов.

Одним из основных методов является анализ сетевого трафика с использованием статистических методов, таких как анализ пакетов, анализ протоколов и анализ ошибок [2].

Второй метод - анализ сетевого трафика с использованием алгоритмов машинного обучения. Эти алгоритмы могут использоваться для выявления аномалий в сетевом трафике, которые указывают на возможные атаки или проблемы с безопасностью [3].

Третий метод - мониторинг и анализ сетевого трафика с помощью специальных инструментов и программного обеспечения, таких как Netflow, Netstat и Wireshark. Netflow - это технология сбора и анализа данных о сетевом трафике в режиме реального времени. Она собирает информацию о трафике на уровне пакетов и отправляет ее в центральную систему для анализа; Netstat - утилита для Windows, отображающая статистику использования сети, такую как количество отправленных и полученных пакетов, скорость передачи данных. Wireshark - программа для анализа сетевого трафика, позволяющая перехватывать и анализировать проходящие по сети пакеты с помощью различных функций анализа трафика, включая возможность фильтрации по ряду параметров, таких как IP-адреса, порты и протоколы.

С помощью этих средств можно собирать и анализировать статистику сетевого трафика для выявления аномалий и проблем [4].

Четвертый метод оценки надежности сетевого трафика включает в себя методы шифрования для защиты сетевой информации. Это шифрование данных, использование цифровых подписей и другие методы защиты информации.

Разберем более детальней первых два подхода:

Анализ сетевого трафика является важным инструментом для мониторинга и оптимизации производительности сети. Он позволяет выявить проблемы, связанные с сетевыми коммуникациями, такие как пропускная способность, задержка и ошибки. Для анализа сетевого трафика используются различные статистические методы. Одним из них является анализ пакетов. Этот метод изучает содержимое каждого пакета, проходящего через сеть, и выявляет такие проблемы, как задержка, потеря пакетов и дублирование данных. Другой метод - анализ протоколов. Используемые в сети протоколы могут быть проанализированы с целью выявления возможных проблем в их работе. Например, протоколы TCP и UDP могут быть проанализированы для выявления проблем в их работе. Для выявления проблем в работе сети можно также использовать анализ ошибок. Этот метод анализирует ошибки, возникающие при передаче данных, и выявляет потенциальные проблемы, такие как проблемы маршрутизации или доступа к сети. В целом анализ сетевого трафика позволяет выявить и устранить проблемы, влияющие на производительность сети и удобство работы пользователей (рис.2) [2].

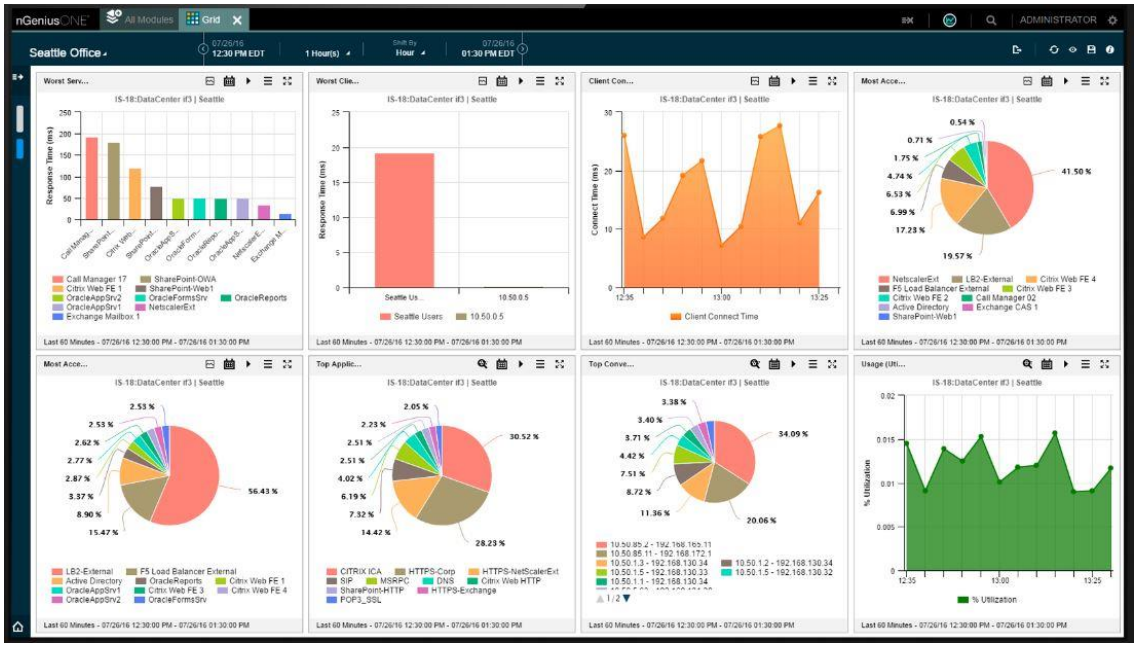


Рисунок 2 – Анализаторы трафика, производительности сети и приложений

Алгоритмы машинного обучения (ML-machine learning) могут быть использованы для анализа сетевых данных, включая сетевые пакеты, логи, журналы и т.д. ML-модели могут быть обучены на этих данных, чтобы обнаруживать аномалии, связанные с сетевыми событиями, например, аномально высокий объем трафика, нестандартные IP-адреса или порты, или необычные сетевые пакеты. Эти аномалии могут указывать на потенциальные проблемы безопасности, такие как атаки на сеть, проникновение в систему или вредоносное программное обеспечение. ML-алгоритмы могут помочь в выявлении этих аномалий, чтобы операторы сетей могли быстро реагировать на угрозы и принимать соответствующие меры для обеспечения безопасности своей сети (рис.3) [3].

Решение

Подход, предлагаемый авторами, является совокупностью двух подходов, описанных выше. В первую очередь проводится инспекция флагов кадров, пакетов и сегмента данных, после чего проводится отправка проверочных пакетов на электронно-вычислительную машину с установленным временным интервалом. В проверочных пакетах устанавливаются определенные флаги, которые проверяются на входе клиента. Проведя анализ стека протоколов TCP/IP были выбраны данные компоненты:

- длина кадра,
- длина пакета,
- длина сегмента,
- поле пакета DSCP(Differentiated Services Code Point),

- поле пакета Flag (флаги) только для IPv4,
- поле пакета TTL для IPv4 и Hop Limit для IPv6,
- поле сегмента Urgent протокол TCP,
- поле сегмента Control bits протокол TCP,
- поле сегмента Options протокол TCP,
- поле сегмента Sequence Number протокол TCP,
- поле сегмента Acknolwledgement Number,
- информация с верхнего уровня (уровень приложения) [5].

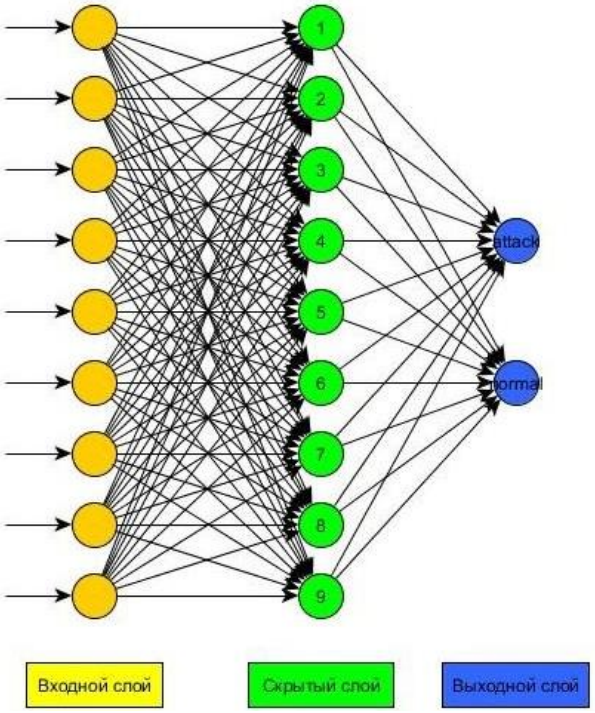


Рисунок 3 – Нейронная сеть обнаружения компьютерных атак на основе анализа сетевого трафика

После получения пакетов компьютер проводит декапсуляцию и распаковывает данные. Программа, установленная на компьютере клиента, проверяет полученную информацию и определяет достоверность данных. Достоверность данных передаваемых по сети можно проверять первым подходом, исключительно только при помощи математического и статистического аппарата, однако возможно подключение нейронной сети и обучение ее под нужды исследования [6].

В результате проделанной работы предложен новый метод для повышения достоверности данных передаваемых по сети, который основан на комплексном коэффициенте достоверности, состоящем из различных критериев на различных уровнях стека протокола TCP/IP. Данный подход находится в стадии апробации, готовится стенд для проведения эксперимента и подборе инструментального программного обеспечения для его реализации. Предложенный подход дополняет и расширяет метод поиска пассивного перехвата трафика.

Выводы

В результате проведенных исследований авторы предлагают использовать коэффициенты надежности для повышения надежности передачи данных в корпоративных сетях за счет использования пакетов аутентификации. Такие коэффициенты являются составными и включают в себя различные флаги и поля сетевого протокола стека TCP/IP. Предлагаемый подход основан на свойствах инкапсуляции и деинкапсуляции стека TCP/IP при передаче данных по сети. В результате стандарты могут быть последовательно скрыты и найдены в нужном месте. Например, при передаче данных по сети одновременно передается пакет аутентификации со скрытым "маячком". Если при получении пакета "маячок" не изменился, то его можно исследовать в месте получения пакета и в какой-то степени утверждать, что информация достоверна и не была изменена или что трафик не был подслушан. Данный подход отличается от других тем, что в нем используется комплексный и системный подход к выбору критериев и показателей достоверности данных. В основе подхода лежит сложный набор факторов надежности, включающих различные критерии на разных уровнях стека протоколов TCP/IP. Данный подход к оценке достоверности основан на комплексном наборе факторов надежности, включающем

различные уровни стека протоколов TCP/IP. Предложенный подход дополняет и расширяет методы поиска пассивного перехвата трафика, изученные другими учеными.

Литература

1. Актуальные киберугрозы: итоги 2022 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2022 (дата обращения: 24.08.2023).
2. Скуратов А.К. Статистический анализ телекоммуникационных сетей на основе исследования информационных потоков, представленных в виде временных рядов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. № 1, 2006. С. 259-262.
3. Мустафаев А.Г. Нейросетевая система обнаружения компьютерных атак на основе анализа сетевого трафика // Вопросы безопасности. [Электронный ресурс], 2016. № 2. Режим доступа: https://e-notabene.ru/nb/article_18834.html/ (дата обращения: 24.08.2023).
4. Wireshark. https://www.wireshark.org/, дата обращения 24.08.2023.
5. Жебель, В. А. Методы и алгоритмы анализа сетевого трафика для определения коэффициента достоверности данных / В. А. Жебель // Проблемы и решения автоматизации XXI века : Материалы VI Национальной научно-практической студенческой конференци, Сургут, 24–25 февраля 2023 года / Редактор А.А. Исаев. – Сургут: Сургутский государственный университет, 2023. – С. 23-27. – EDN MEMRRF.
6. Жебель, В. А. Использование коэффициента достоверности данных для определения достоверности передаваемых данных по сети / В. А. Жебель, А. И. Солдатов // Успехи кибернетики. – 2023. – Т. 4, № 2. – С. 60-67. – DOI 10.51790/2712-9942-2023-4-2-09. – EDN SBRNQM.

ДОСТУПНОСТЬ ЦИФРОВОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ НАРУШЕНИЙ ЗДОРОВЬЯ

Романенкова Д.Ф.
ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет»
+7 (912) 898-66-57, droman@csu.ru

Статья посвящена вопросам обеспечения доступности для людей с различными видами нарушений здоровья (с нарушениями зрения, слуха, опорно-двигательного аппарата) цифрового образовательного контента. Рассмотрены понятие веб-доступности как базового элемента разработки сайтов и средства ее обеспечения. Показано, что доступность интернет-сайтов, в т.ч. образовательных, пока не полностью не обеспечивается. В статье рассмотрены различные ассистивные информационные технологии, применение которых в инклюзивном высшем образовании способствует доступности и качеству образования для людей с инвалидностью.

Ключевые слова: веб-доступность, лица с инвалидностью, инклюзивное образование, ассистивные технологии.

Accessibility of digital educational content for people with various types of health disorders. Romanenkova D.F. Chelyabinsk State University.

The article is devoted to the issues of ensuring accessibility of digital educational content for people with various types of health disorders (with visual, hearing, musculoskeletal disorders). The concept of web accessibility as a basic element of website development and means of its provision are considered. It is shown that the availability of Internet sites, including educational ones, is not yet fully ensured. The article discusses various assistive information technologies, the use of which in inclusive higher education contributes to the accessibility and quality of education for people with disabilities.

Keywords: web accessibility, people with disabilities, inclusive education, assistive technologies.

С расширением применения в высшем образовании электронных средств организации обучения и цифровых образовательных ресурсов, которое связано с цифровизацией и цифровой трансформацией всех сфер жизни общества, актуализируются вопросы их доступности для людей с различными ограничениями по здоровью. К тому же во время пандемии коронавируса существенно увеличилось применение образовательного контента в электронно-цифровой форме, однако его качество не всегда соответствует потребностям обучающихся.

Особое внимание при организации образовательной деятельности в электронной образовательной среде должно быть уделено следующим категориям людей, нуждающимся в создании условий доступности: обучающиеся с нарушениями зрения (незрячие, слабовидящие, с различными видами

дальтонизма (цветовой слепоты)); обучающиеся с нарушениями слуха (глухие, слабослышащие); обучающиеся с нарушениями опорно-двигательного аппарата (испытывающие затруднения или неспособность пользоваться мышью); обучающиеся с когнитивными нарушениями (психические нарушения, трудности в понимании и концентрации, различные проблемы обучаемости и пр.). У части из них может быть официально установлена инвалидность, но ее отсутствие не свидетельствует о том, что у человека не возникнет постоянных или ситуационных проблем с работой с программным обеспечением и информационными ресурсами.

По данным Всемирной организации здравоохранения, во всем мире более 2 миллиардов человек имеют нарушения зрения, что составляет 28% населения Земли [1]. То или иное нарушение цветовосприятия есть, по разным оценкам, у 2-8% населения, в основном – у мужчин. В настоящее время проблема потери слуха затрагивает более 1,5 миллиарда человек в мире, из которых у 430 миллионов человек умеренное или более серьезное снижение слухового восприятия (5% населения) [5]. По России такой статистики нет, однако мировые данные можно распространить и на нашу страну.

Наибольшие сложности при работе с цифровыми образовательными ресурсами испытывают незрячие люди. Специфика их работы с компьютером или мобильным устройством заключается в том, что с помощью ассистивных технологий, таких как программа экранного доступа и/или дисплей Брайля, можно обеспечить только восприятие информации, представленной в текстовой форме. Это обеспечивается через преобразование текста в звуковую информацию с использованием синтезаторов речи или в тактильную через тифлосредства. Существенная особенность всех этих технологий в том, что они не могут обеспечить непосредственное воспроизведение не текстовой информации (графической, видеоинформации и пр.) [9]. Незрячий пользователь управляет компьютером с использованием обычной клавиатуры вместо мыши или клавиатуры, расположенной на дисплее Брайля, поэтому очень важно, чтобы функционал управления программными средствами организации обучения был доступен с клавиатуры.

Рассмотрим понятие доступности. Доступность в широком смысле – это практика, позволяющая использовать ресурсы как можно большему числу людей. Под доступностью в сети Интернет (или веб-доступностью) понимается достижение паритета функций и информации, а также предоставление полного доступа ко всем аспектам интерфейса для людей с различными ограничениями жизнедеятельности [4]. Веб-доступность предполагает проектирование и разработку веб-сайтов, приложений и технологических решений с учётом возможности их использования различными группами пользователей [4]. Доступность – это качество цифровой среды, характеризующее степень её приспособленности для людей с различными ограничениями по здоровью.

Программные средства, интернет-сайты изначально должны быть спроектированы таким образом, чтобы ими могли пользоваться как люди без ограничений, так и люди с ограниченными возможностями здоровья. Электронный ресурс являются неполноценным, если им не могут пользоваться все люди вне зависимости от имеющихся нарушений. Если он исключает определенные категории людей с ограничениями, в цивилизованном мире это является дискриминацией и потенциально основанием для штрафов или судебных исков.

Существует неверное мнение, что доступность для лиц с ограниченными возможностями здоровья – это что-то дополнительное к основному функционалу, то, что, нужно только для очень немногих пользователей. Однако такой функционал часто может быть нужен и удобен многим людям и именно его наличие определяет востребованность ресурса. Есть большое число пользователей, которые могут испытывать временные или ситуационные ограничения. Например, невозможность использования компьютерной мыши может возникнуть вследствие травмы руки или поломки мыши. Проблемы с доступностью возникают и у людей, которые используют мобильные устройства либо имеют медленное интернет-соединение.

Таким образом, доступность – это не только про лиц с инвалидностью, а также забота об удобстве использования продукта или сервиса в любых обстоятельствах, с которыми сталкиваются пользователи, в любой среде и на любом устройстве. Так все ведущие мировые ИТ-корпорации обеспечивают доступность своих продуктов для людей с различными видами особых потребностей (например, операционные системы Windows, Android, iOS пакет программ Microsoft Office, браузер Google Chrome, программа видеоконференцсвязи Zoom и др.).

Доступностью интернет-сайтов как в России, так и мире пока не обеспечивается в достаточной мере. Организация WebAIM (Web Accessibility In Mind) в течение последних лет ежегодно проводит оценку доступности домашних страниц одного миллиона популярных веб-сайтов. По результатам 2023 года 96,3% домашних страниц обнаружили сбои WCAG 2.1 (международный стандарт обеспечения веб-доступности, признаваемый и поддерживаемый ведущими веб-разработчиками, на основе которого созданы многое национальные стандарты и нормативы, в т.ч. в Российской Федерации), это немного ниже, чем 96,8% в 2022 году. За последние 4 года количество страниц с обнаруживаемыми сбоями WCAG снизилось всего на 1,5%. Среди наиболее распространённых проблем: текст низкой контрастности – 83,6%

страниц, отсутствие альтернативного текста для изображений – 58,2% страниц, отсутствие меток ввода формы – 45,9% страниц [3]. Аналогичные результаты изложены в отчете Web Almanac: HTTP Archive's annual state of the web report, согласно которому порядка четверти домашних страниц для настольных компьютеров и мобильных устройств пытаются отключить масштабирование, что существенно затрудняет их использование лицами с нарушениями зрения [2].

В Российской Федерации нормативным документом, описывающим требования к доступности информации, представленной в электронно-цифровой форме, для широкого круга пользователей с ограничениями жизнедеятельности является 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» [6]. Однако обязательного применения норм данного стандарта для сайтов с образовательной информацией законодательно не предусмотрено. Имеющиеся российские стандарты по вопросам электронного обучения и дистанционных образовательных технологий не включают требования по обеспечению доступности цифрового образовательного контента для лиц с инвалидностью [7]. Поэтому разработчики сайтов и авторы образовательных курсов не учитывают особенности приема-передачи информации обучающимися с различными видами нарушений здоровья, что не способствует доступности их образования.

Минимальные требования по доступности официальных сайтов образовательных организаций высшего образования определены приказом Рособрнадзора, согласно которому обязательно наличие версии для слабовидящих. На практике – это дополнительная панель с кнопками, которые позволяют увеличить или уменьшить размер шрифта, установить различные сочетания цвета текста и цвета фона, отключить изображения или сделать их черно-белыми и др. Подобные виджеты доступности предлагают минимальные, а часто и избыточные, инструменты и возможное устранение лишь небольшого процента барьеров и то, только для одной категории – слабовидящих людей. Такой подход привлекает своей простотой, но важно осознавать, что обеспечение доступности должно быть базовым элементом веб-разработки, а не второстепенным элементом.

Можно выделить два основных способа обеспечения доступности образовательного контента. Первый и основной заключается в изначальном его проектировании с учетом принципов универсального дизайна, направленного на создание доступной среды не только для обучающихся с инвалидностью, но и для всех категорий обучающихся. Однако полностью требования доступности, как правило, выполняются редко, поэтому второй способ представляет собой обеспечение совместимости материалов с ассистивными технологиями – устройствами, программными и иными средствами, использование которых позволяет расширить возможности лиц нарушениями зрения, слуха, опорно-двигательного аппарата, другими видами нарушений здоровья в получении такого же объема информации, как и любыми другими обучающиеся, их адаптации к условиям жизни и социальной интеграции.

Ассистивные технологии в инклюзивном образовании выполняют ряд важных функций, в числе которых компенсаторные, коррекционные, дидактические, коммуникативные функции. Использование ассистивных технологий направлено на решение двух важнейших задач образовательного процесса: получение информации в доступной форме и обеспечение коммуникации обучающего с преподавателем и другими обучающимися [8].

Рассмотрим ассистивные технологии, применение которых в инклюзивном высшем образовании способствует повышению доступности цифрового образовательного контента для обучающихся с различными видами нарушений здоровья.

Для людей с нарушениями опорно-двигательного аппарата ассистивные информационные технологии служат для облегчения взаимодействия с компьютером или мобильным устройством и способствуют более быстрому и комфортному вводу информации и управлению компьютером. С помощью сочетания клавиш (стандартных и пользовательских) выполняются задачи, обычно требующие использования компьютерной мыши. Виртуальная, или экранная, клавиатура используется вместо физической клавиатуры и служит для ввода текста, в т.ч. с использованием функции прогнозирования текста, предлагающей варианты слов по набранным символам. Она также помогает людям с дисграфией снизить вероятность орфографических и грамматических ошибок. Набор текста с помощью голоса, или технология Speech-to-Text, позволяет преобразовывать произнесенные слова в письменный текст в режиме реального времени. Такие функции выполняют онлайн-сервисы, расширения для браузеров, приложения (например, SpeechPad, VoiceNote, SpeechTexter, Dictation, SpeechTexter и др.) Речь с помощью искусственного интеллекта преобразуется в буквы, слова, фразы и предложения, и на выходе получается текстовая версия аудио. Именно благодаря искусственному интеллекту и «обучаемости» системы нераспознанные слова подбираются по контексту. Благодаря этому данные сервисы могут использовать и пользователи с нарушением речи, которая часто бывают у людей с детским церебральным параличом.

Для людей с нарушениями слуха ассистивные информационные технологии помогают получить аудиоинформацию в форме, доступной для восприятия. Для них актуальны программные продукты и

сервисы, преобразующие речь или аудиозапись в текст или русский жестовый язык. Наибольшей популярностью пользуются программы транскрибации (перевод речи в текст) для мобильных устройств (например, Яндекс.Разговор, Прямая речь, Голосовой блокнот, Переводчик Google и др.). Большинство приложений работают при подключенной сети Интернет и имеют встроенный распознаватель речи на основе нейронной сети. Цель транскрибации – качественно перевести речь в текстовый формат, который человек будет хорошо понимать при прочтении. Подобные программы эффективно использовать для общения глухих людей со слышащими, а также восприятия речи преподавателя на лекционных занятиях.

В настоящее время очень много образовательной информации представлено в форме видео. Субтитры необходимы для передачи слуховой информации глухим или слабослышащим людям, а также очень полезны для пользователей с когнитивными нарушениями, такими как трудности с обработкой звука. Исследования показывают, что 85% видео в социальных сетях пользователи просматривают с включенными субтитрами и выключенным звуком [2]. Субтитры могут быть сформированы автоматически (например, при загрузке видеоматериалов на ресурс YouTube) или вручную с использованием специального программного обеспечения. Предпочтительно использовать внешние субтитры, представляющие собой текстовые данные, хранящиеся в отдельном файле, интерпретируемые видеоплеером и накладываемые на изображение.

Из перспективных разработок следует отметить компьютерный переводчик на русский жестовый язык компании «Адапсис». Планируется, что он будет активно использоваться для целей обучения. Разработана технология синхронного перевода, по которой 3D-аватар будет переводить текст на жестовый язык одновременно с речью человека.

Одним из самых сложных остается вопрос перевода русского жестового языка в текст. Крупнейшие российские кампании (Яндекс, Сбер) пытаются разработать такие системы, однако жестовая речь каждого человека уникальна и точность перевода пока оставляет желать лучшего.

Для людей с нарушениями зрения ассистивные информационные технологии служат для усиления возможностей остаточного зрения, снижения нагрузки на глаза, повышения комфортности восприятия информации, а также преобразования зрительной информации в аудио и электронный текст. Для слабовидящих людей для работы на персональном компьютере или ноутбуке эффективным является использование специальных возможности операционных систем (увеличение разрешения экрана, режим высокой контрастности, изменение цвета и указателя мыши и др.), а также ассистивных программных средств экранного увеличения (экранные лупы операционных систем, Magnify, MAGic, ZoomText и др.). Экранные лупы позволяют увеличить весь экран или его часть в десятки раз для просмотра мелких деталей (текста, изображений и пр.). Слабовидящие люди, которые лучше воспринимают информацию на слух, используют технологии преобразования текста в речь (Text-to-Speech). Программы синтеза речи (Балаболка, Говорилка, Text to Speech, Zamzar, Синтезатор речи Google и др.) позволяют озвучить текст и/или записать его в файл аудио формата для дальнейшего воспроизведения.

Незрячие работают на компьютере с использованием программ экранного доступа (NVDA - Non Visual Desktop Access, JAWS). Это дает возможность с помощью речевого синтеза озвучивать все действия и всю текстовую информацию. К сожалению, далеко не весь учебный текст представлен в виде электронного документа. Даже в электронных библиотечных системах есть источники, не содержащие подтекстовый слой и не воспринимаемые программами экранного доступа. В этом случае на помощь приходят программы оптического распознавания символов (ABBYY FineReader, OCR CuneiForm, Online OCR, Яндекс Переводчик, Google Переводчик и др.).

В настоящее время решается задача импортозамещения, в т.ч. и программных продуктов и сервисов, обеспечивающих доступность цифрового контента для людей с различными ограничениями по здоровью.

Таким образом, обеспечение доступности цифрового контента для людей с различными видами нарушений здоровья остается актуальной задачей для программистов, разработчиков образовательных сайтов, авторов онлайн-курсов. Важно следовать установке, что веб-доступность – это один из основополагающих принципов в разработке функционала образовательных сайтов и их содержания, что способствует повышению привлекательности образовательного контента, повышению уровня усвоения учебной информации, повышению качества образования всех обучающихся.

Литература

1. Blindness and vision impairment [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment (дата обращения: 25.08.023).

2. Sengupta S., Colas T., Davis S. Web Almanac HTTP Archive’s annual state of the web report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://almanac.httparchive.org/en/2022/accessibility (дата обращения: 25.08.023).

3. The WebAIM Million: The 2023 report on the accessibility of the top 1,000,000 home pages [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://webaim.org/projects/million (дата обращения: 25.08.2023).

4. Введение в веб-доступность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-intro/ru (дата обращения: 20.08.2023).

5. Всемирный доклад по проблемам слуха: резюме [World report on hearing: executive summary]. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/339956/9789240027497-rus.pdf?sequence=17&isAllowed=y (дата обращения: 25.08.023).

6. 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: 20.08.2023).

7. Косова Е.А. Стандартизация доступности веб-контента // Открытое образование. – 2020. – Т. 24, № 3. – С. 12-23.

8. Романенкова Д.Ф. Возможности персонализации образовательного процесса лиц с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья в цифровой образовательной среде // Развитие личности в условиях цифровой трансформации : Материалы V Международной научно-практической конференции, Копейск, 31 января 2020 года. – Копейск: Челябинский институт развития профессионального образования, 2020. – С. 14-18.

9. Рощина М.А., Швецов В.И. Доступность Интернет-ресурсов для незрячих пользователей как фактор обеспечения им доступа к открытому образованию // Открытое образование. – 2010. – №1. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/dostupnost-internet-resursov-dlya-nezryachih-polzovateley-kak-faktor-obespecheniya-im-dostupa-k-otkrytomu-obrazovaniyu (дата обращения: 20.08.2023).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОЙ МОДЕЛИ В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Катасонова Г.Р., Сотников А.Д., Соломко Ю.С.
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Рассматривается возможность формализации процесса цифровой трансформации традиционного университета на основе использования компонентной модели. Анализируется деятельность, связанная с организацией и управлением учебно-образовательным процессом в высшем учебном заведении с целью устойчивого перехода вуза в новое качественное состояние, соответствующее современным тенденциям развития общества.

Ключевые слова: архитектура, компонентная модель, процессы

Using the component model in the digital transformation of an educational institution. Katasonova G.R., Sotnikov A.D., Solomko Yu.S., Saint Petersburg State University of Telecommunications them. prof. M.A. Bonch-Bruevich

The possibility of formalizing the process of digital transformation of a traditional university based on the use of a component model is considered. The activities related to the organization and management of the educational process in a higher educational institution are analyzed with the aim of a sustainable transition of the university to a new qualitative state that corresponds to modern trends in the development of society.

Keywords: architecture, component model, processes

Введение и цели

Образовательные системы на основе проектов «Иннополис», «Сколково», «Кольцово», возникшие в XXI веке, базируясь на опыте предыдущих поколений, впитали все доступные на сегодня технологические и организационно-управленческие новации, позволяющие им создание и развитие «с чистого листа». Это позволяет не иметь того «негативного», исторически обусловленного багажа, который несут на своих плечах традиционные университеты, для которых задача дальнейшего развития, а порой и «существования» противопоставляется эквивалентной задаче качественного преобразования всей деятельности, которую уместно назвать современным термином - «цифровая трансформация».

Груз прошлого в виде традиционных образовательных моделей, исторически разнородных информационных систем, поддерживающих основные процессы деятельности, в первую очередь

образовательный, научно-организационный, административно-управленческий, хозяйственный, воспитательный, не позволяет «одномоментно» перейти в новое качество.

В связи с этим, цифровая трансформация образовательного учреждения, включающей изменение технологий, изменение конкуренции и изменение потребительского спроса должна обеспечиваться относительно «безболезненным» переходом, не приводящим к нестабильной работе вуза актуальной задачей. Это становится основным фактором инноваций в управлении и организации образовательного сектора, которая может быть достигнута активным использованием цифровых технологий при создании и разработке новых продуктов и услуг, новых образовательных направлений, новых подходов, формирование технологического задела и опережающая подготовка кадров.

Преимуществами цифровой трансформации в деятельности образовательной организации является повышении гибкости управления за счет эффективного использования ресурсов и создания новых возможностей, безопасность, оптимизация технологических процессов при решении любого класса задач. Для руководства это дает возможность оценки результатов в реальном времени для оперативного реагирования на постоянно меняющиеся потребности образовательной организации и принятия стратегических решений. Цифровая трансформация открывает новые возможности для развития коммерческой составляющей образовательной организации и академической сферы.

В университете телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича информатизация учебного процесса и автоматизация управления вузом осуществляется с помощью система управления «Кибейя», которая способствует эффективному взаимодействию преподавателей, студентов, абитуриентов и их родителей.

В удобном формате в личных кабинетах профессорско-преподавательского состава (ППС) размещаются (рис. 1):

- учебные планы;
- расписание;
- успеваемость и посещаемость;
- делопроизводство;
- приемная и выпускная кампании;
- внешняя отчетность;
- учебно-методический портал;
- повышение квалификации;
- работа с выпускниками.

Система включает также сведения кадрового учета, учет библиотечного фонда, проездных билетов, электронные журналы, договоры, интеграция с проходной системой, управление студгородком.

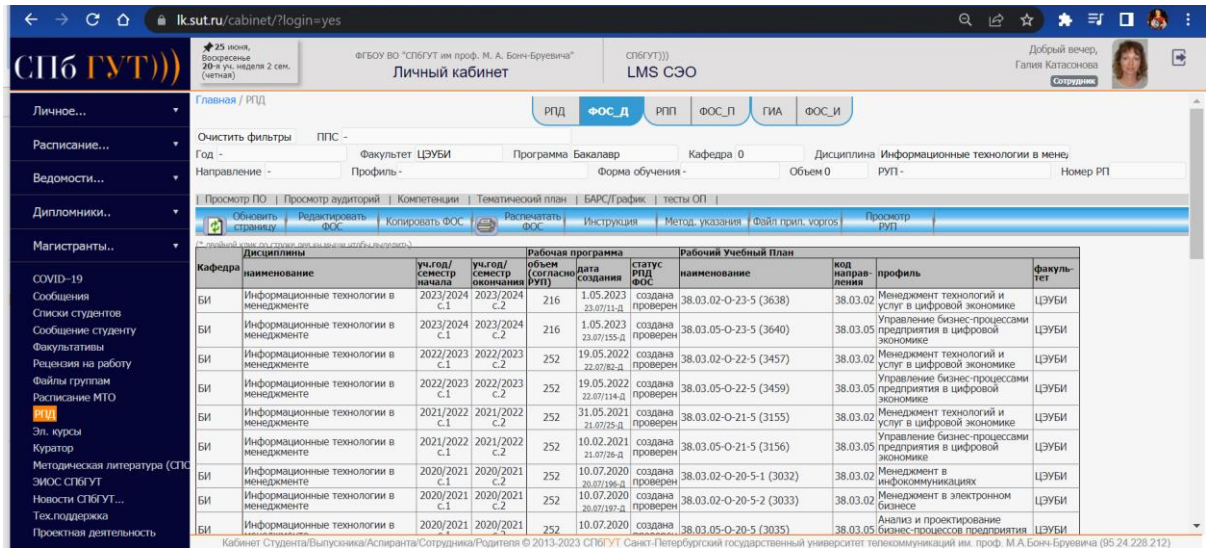


Рисунок 1 – Окно фонда оценочных средств личного кабинета преподавателя СПбГУТ

Можно утверждать, что процесс трансформации образовательная организация включает систему управления образовательным контентом, электронные образовательные ресурсы, системы искусственного интеллекта (ИИ), повышение квалификации ППС, ресурсы смарт-пространства.

Архитектурный подход и компонентная модель бизнеса

Одним из возможных решений вышеназванной задачи может быть достаточно хорошо апробированный в бизнесе и популярный сегодня архитектурный подход и корпоративная архитектура [1], которые объединяют в единое целое разнородные сущности, среди которых основными являются такие как «деятельность», «данные» и «системы».

Отталкиваясь от бизнес-модели, в случае вуза лучше сказать - модели информационного, когнитивного взаимодействий деятельности [2], [3], [4] архитектурный подход позволяет представить деятельности компании в виде набора отдельных бизнес-компонент, распределенных по компетенциям бизнеса и уровням управления, что открывает возможности для анализа деятельности и конструирования, на базе моделей данных и систем, новых, более совершенных компонентов.

Таким образом, компонентная модель, состоящая из упорядоченной композиции бизнес-компонентов [5], [6] обеспечивает структурированное представление основных (значимых) бизнес-процессов организации. Каждый такой бизнес-компонент является относительно самостоятельной частью организации, генерирует определенную ценность, реализует характерные для него виды деятельности, обладает соответствующими ресурсами, участвует в информационных процессах (генерирует, хранит, преобразовывает, транспортирует, утилизирует информацию).

Анализ компонент позволяет выполнить оценку возможностей и путей совершенствования (целенаправленной положительно результативной трансформации) для каждого компонента которые, в свою очередь реализуются инструментами цифровизации и автоматизации.

В 2023 году в СПбГУТ проводится комплекс работ по цифровой трансформации университета с целью вывести его на уровень современных, высокотехнологичных учебных заведений, соответствующих требованиям настоящего времени. Одной из базовых задач сформулирована задача разработки компонентной модели как основы для описания и анализа деятельности. На рисунке 2 представлен фрагмент разрабатываемой компонентной модели для подразделений, связанных с образовательной деятельностью.

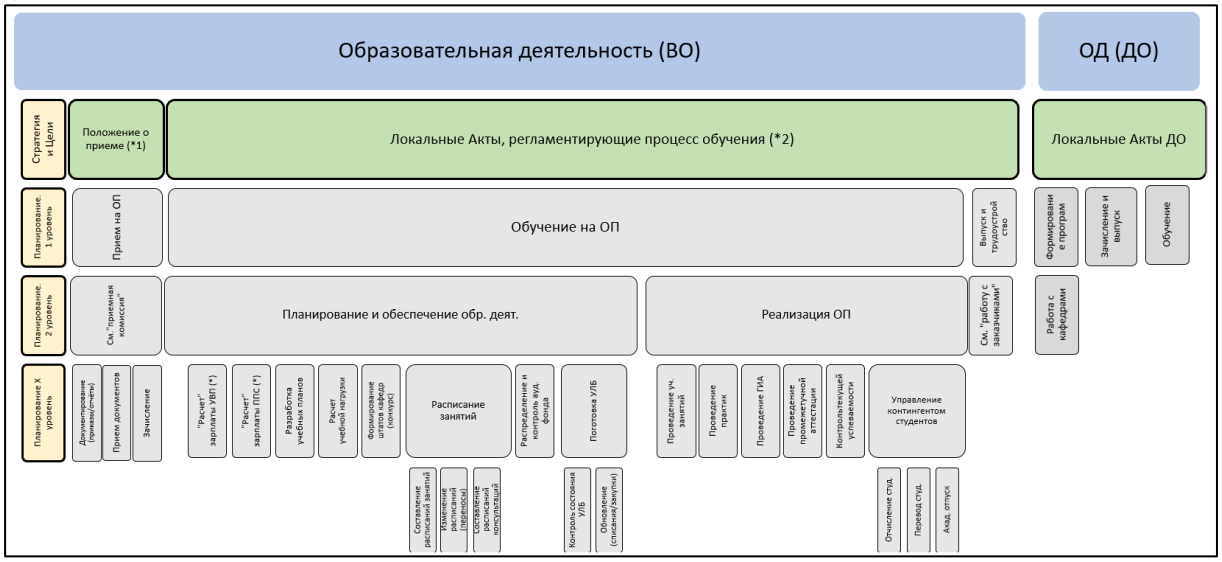


Рисунок 2 – Фрагмент компонентной модели университета

Выбранная методология позволила формализовать работу, распределить её между участниками образовательного процесса и обеспечить их организованное взаимодействие и управление. Это привело к сокращению времени и очевидному сокращению издержек, сохранению баланса между традиционным педагогическим подходом и оказанием услуг на новой, современной технологической базе. Релевантность, проактивность и операционное превосходство дадут возможность образовательным организациям в будущем конкурировать в цифровой сфере.

Литература

1. Сотников А.Д., Арзуманян М.Ю. Мониторинг «информатизации» предприятий в процессе перехода к информационной экономике Вестник ИНЖЭКОНа. Серия: Экономика. 2008. № 6.

2. Катасонова Г.Р., Сотников А.Д., Стригина Е.В. Использование моделей информационного взаимодействия в обучении. В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Международная научно-методическая конференция: сборник научных статей в 2 томах. 2015. С. 1557-1561.

3. Сотников А.Д. Принципы анализа прикладной области в инфокоммуникационных системах здравоохранения Труды учебных заведений связи. 2004. № 171. С. 174.

4. Сотников А.Д., Катасонова Г.Р. Модели когнитивного взаимодействия в образовательных системах / Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2017. № 1. С. 70-73.
5. Катасонова Г.Р., Соломко Ю.С., Сотников А.Д., Стригина Е.В. Модель информационных процессов в виртуальных средах // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2022). Сборник научных трудов XI Международной научно-технической и научно-методической конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 589-593.
6. Rogozinsky G.G., Sotnikov A.D. Principles of cyber-physical models mapping onto sonification sound spaces // В сборнике: 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2018. С. 8350628.

АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ЖЕНСКОЙ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ

Ксенз Н.С.
Южный федеральный университет
+7 (950) 862-57-00, nsksenz@sfedu.ru

В работе рассмотрены системы поддержки принятия врачебных решений в области женской репродуктивной системы. Представлены результаты сравнительного анализа основных функций систем, используемых методов и алгоритмов.
Ключевые слова: система поддержки принятия врачебных решений, анализ функций, женская репродуктивная система

The female reproductive system medical decision support systemfunctions analysis. Ksenz N.S., Southern Federal University.
Clinical decision support systems decisions in the field of the female reproductive system were discussed in the article. The results of a comparative analysis of the main functions of the system, including methods and algorithms are presented.
Keywords: Clinical decision support system, Requirements analysis Female reproductive system.

Информационные технологии поддержки принятия решений все чаще применяются во врачебной практике. Одной из важнейших целей является улучшение репродуктивного здоровья населения. Для достижения данной цели целесообразно использовать современные методы анализа данных в системах поддержки принятия врачебных решений в области женской репродуктивной системы.

В результате поиска зарегистрированных программ для ЭВМ - систем поддержки врачебных решений в области женской репродуктивной системы по базе данных Федерального института промышленной собственности на август 2023 года обнаружены системы прогнозирования развития патологии [1], программы для отслеживать динамику изменения показателей при СПКЯ [2] и гнойно-воспалительных заболеваний мочеполовых органов [3]; выявления признаков патологии при автоматическом анализе цифровых маммографических изображений [4,5], поддержки принятия решений в акушерстве[6,9] и оценки перинатального риска [7] и риска развития преэклампсии[8].

Основные функции, используемые методы и алгоритмы систем поддержки принятия врачебных решений в области женской репродуктивной системы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные функции, используемые методы и алгоритмы.

Название системы поддержки принятия врачебных решений	Функции	Методы и алгоритмы
Облачный медицинский сервис: программа поддержки принятия врачебных решений на этапе постскрининговых мероприятий по прогнозированию предрака шейки матки	Прогнозирование развития патологии шейки матки на этапе постскрининговых мероприятий. Программа при выполнении ввода данных позволяет получить рекомендации.	Заложена серия факторов риска, отмечая которые, пользователь перемещается от клинических данных к лабораторным и соматометрическим показателям пациентки, в итоге выходит на числовое значение риска развития патологии.
Программа для работы с данными результатов медицинских исследований пациентов с возможностью поддержки	Программа позволяет вести учет пациентов, результатов медицинских исследований, отслеживать динамику	Реализован автоматизированный алгоритм постановки диагноза синдрома поликистозных

Название системы поддержки принятия врачебных решений	Функции	Методы и алгоритмы
принятия врачебных решений при постановке диагноза СПКЯ у женщин репродуктивного возраста	изменения показателей у пациентов, осуществлять поддержку принятия решений при диагностике СПКЯ у женщин репродуктивного возраста.	яичников у женщин репродуктивного возраста.
Диагностика гнойно-воспалительных заболеваний мочеполовых органов 3.0	Используется при длительном наблюдении пациентов с гнойно-воспалительными заболеваниями мочеполовых органов по значениям показателей иммунограммы обследуемого пациента.	
Программный комплекс для экспертной системы поддержки принятия врачебных решений в области маммографии с использованием поисковых систем и технологий глубокого машинного обучения «МОМО» 2.0	Обработка маммографических изображений, автоматическое выявление патологий и аномалий, выдача экспертного заключения.	Нейросети, обученные на маркированных наборах маммографических изображений
Программа для удаленного мониторинга и консультации пациентов с акушерской патологией	Программа является реализацией сервиса по удаленному мониторингу и консультированию пациентов с акушерской патологией.	Методы приема и передачи сообщений между пользователями, а также интеллектуальный анализ поступающей информации.
Программа для оценки перинатального риска на основании кардиотокограммы по шкале FIGO на основе машинного обучения WML.Perinatal.FIGO	Математическая модель для оценки перинатального риска на основании кардиотокограммы по шкале FIGO. В Модель предназначена для встраивания в системы поддержки принятия врачебных решений , системы предиктивной аналитики, в телемедицинские системы , медицинские информационные системы и в иные системы и сервисы, где необходима оценка перинатального риска на основании кардиотокограммы.	Алгоритм машинного обучения - алгоритм градиентного бустинга деревьев решений . XGBoost.
Программа для оценки риска развития преэклампсии в течение текущей беременности на основе машинного обучения WML.Prognosis.Obstetrics.Preeclampsia	Набор (ансамбль) математических моделей на основе машинного обучения для оценки риска развития преэклампсии в течение текущей беременности с использованием данных из электронной медицинской карты пациента.	На вход программы подаются структурированные данные из электронной карты пациента, на выходе программа выдает вероятность развития преэклампсии в течение текущей беременности (число от 0 до 1).
Программная реализация байесовской сети поддержки принятия врачебных решений в акушерстве	Программа является реализацией алгоритма анализа данных на основе байесовской сети, разработанной для предиктивного анализа исходов у пациентов с гипертензивными расстройствами во время беременности.	методы и алгоритмы работы с байесовской сетью доверия

Система [1] выдает рекомендации по маршрутизации пациентки и по проведению профилактических мероприятий, клинических рекомендаций по дальнейшему обследованию, кратности посещения врача на основании персонифицированного риска патологии. Программа [2], созданная совместно Иркутским национальным исследовательским техническим университетом и Научным центром проблем здоровья семьи и репродукции человека является медицинской информационной системой для работы с электронными картами пациентов и данными лабораторных и ультразвуковых исследований. Система [3], разработанная сотрудниками Воронежского государственного медицинского университет им. Н.Н. Бурденко ориентирована на создание и ведение базы данных пациентов, данных анамнеза, результатов иммунологического обследования. Сотрудники МФТИ решают задачи распознавания изображений для обработки результатов маммографии [4,5]. Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова занимается созданием системы для удаленного мониторинга и консультаций [6] пациентов с акушерской патологией, а также предиктивного анализа исходов у пациентов с гипертензивными расстройствами во время беременности[9]. Разработки компании К-скай (один из лидеров по использованию искусственного интеллекта в здравоохранении) на основе машинного обучения позволяют оценивать перинатальный риск на основании кардиотокограммы по шкале FIGO [7] и риск развития преэклампсии в течение текущей беременности [8].

Системы поддержки принятия врачебных решений активно развиваются в соответствии с текущим уровнем цифровизации в области сбора, интеграции и анализа данных из электронных медицинских карт, с учетом интегрального анамнеза. Высокий уровень эффективности обеспечивается наполнением баз знаний передовыми данными предметной области (репродуктологии), а также удобством и функциональностью программной реализации систем.

Литература

1. Облачный» медицинский сервис: программа поддержки принятия врачебных решений на этапе постскрининговых мероприятий по прогнозированию предрака шейки матки Кузьмицкая Е.В. ,Быковская Т.Ю., Леошко М.П., Тлепцеришев Р.А., Шаркунов Н.П. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2017616864, 19.06.2017. Заявка 2017610394 от 10.01.2017
2. Программа для работы с данными результатов медицинских исследований пациентов с возможностью поддержки принятия врачебных решений при постановке диагноза СПКЯ у женщин репродуктивного возраста Бучнев О.С., Аталян А.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021666394, 13.10.2021. Заявка 2021665516 от 04.10.2021
3. Диагностика гнойно-воспалительных заболеваний мочеполовых органов 3.0 Земсков А.М., Земскова В.А., Бережнова Т.А. , Кулинцова Я.В., Дядина К.С. , Черкашина Е.А. , Кузьменко Н.Ю. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021681988, 28.12.2021. . Заявка 2021681228 от 21.12.2021
4. Программный комплекс для экспертной системы поддержки принятия врачебных решений в области маммографии с использованием поисковых систем и технологий глубокого машинного обучения «MOMO» Мальцев А.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020610638, 17.01.2020. Заявка 2019667513 от 27.12.2019
5. Программный комплекс для экспертной системы поддержки принятия врачебных решений в области маммографии с использованием поисковых систем и технологий глубокого машинного обучения «MOMO» 2.0 Коханчик М.А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021662010, 20.07.2021. Заявка 2021660669 от 07.07.2021
6. Программа для удаленного мониторинга и консультации пациентов с акушерской патологией Лагутин В.В., Алтухова О.С. ,Боровиков П. И., Наумов В.А., Балашов И.С. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020618532, 30.07.2020 Заявка 2020617568 от 20.07.2020
7. Программа для оценки перинатального риска на основании кардиотокограммы по шкале FIGO на основе машинного обучения WML.Perinatal.FIGO Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020665331, 26.11.2020. Заявка 2020664958 от 26.11.2020
8. Программа для оценки риска развития преэклампсии в течение текущей беременности на основе машинного обучения WML.Prognosis.Obstetrics.Preeclampsia Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023615849, 20.03.2023. Заявка 2023615031 от 20.03.2023
9. Программная реализация байесовской сети поддержки принятия врачебных решений в акушерстве Лагутин В.В. , Алтухова О.С., Боровиков П.И., Наумов В.А., Балашов И.С. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020618531, 30.07.2020 .Заявка 2020617565 от 20.07.2020

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОХРАНЫ И ЗАЩИТЫ АВТОРСКИХ И СМЕЖНЫХ ПРАВ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

Ловцов Д. А., Кунин Е. И.
Российский государственный университет правосудия
+7 (916) 162-12-75, kei97@bk.ru

Работа посвящена использованию в практической деятельности правообладателя правового протокола действий по охране и защите авторских и смежных прав в информационно-телекоммуникационной сети Интернет. В статье рассматриваются вопросы трансграничного распространения информации, в том числе объектов авторского и смежного права, а также проблемы правового регулирования этой деятельности в цифровом мире, предопределившие необходимость использования технических средств в процессе охраны и защиты интеллектуальной собственности в цифровую эпоху. На основе сложившихся в настоящее время практик, делаются предположения о будущих тенденциях использования информационных технологий для обеспечения охраны и защиты авторских и смежных прав в сети.

Ключевые слова: информационные правоотношения, правовой протокол действий, сайт в сети Интернет, модель управление Интернетом, взаимоотношения субъектов, защита интеллектуальных прав.

Information technologies for the protection of copyright and related rights on the Internet. Lovtsov D.A., Kunin E.I. Russian State University of Justice.

The work is devoted to the use in the practice of the copyright holder of the legal protocol of actions for the protection and protection of copyright and related rights in the information and telecommunications network Internet. The article deals with the issues of cross-border distribution of information, including objects of copyright and related rights, as well as the problems of legal regulation of this activity in the digital world, which predetermined the need for the use of technical means in the process of protection and protection of intellectual property in the digital era. Based on current practices, assumptions are made about future trends in the use of information technologies to ensure the protection and protection of copyright and related rights on the Internet.

Keywords: information legal relations, legal protocol of actions, website on the Internet, Internet governance model, relationships of subjects, protection of intellectual rights.

В настоящее время большое внимание исследователей уделяется формированию продуктивной теоретической базы создания и разработки эффективной национальной системы правового регулирования оборотом *результатов интеллектуальной деятельности* (РИД), одной из основных функциональных подсистем которой является географически распределённая информационно-аналитическая подсистема поддержки принятия организационно-правовых решений по регулированию оборота РИД, содержащая совокупность эффективных протоколов многоагентного поиска и логической обработки информации о состоянии «жизненного цикла» всех зарегистрированных РИД в мире [1].

С популяризацией цифровой дистрибуции и увеличением количества пользователей сети Интернет актуализировались вопросы правовой охраны и защиты РИД и прекращения неправомерного распространения объектов авторских и смежных прав. Особое внимание к задаче обнаружения и прекращения информационных правонарушений в сети проявляют правообладатели произведений, получивших широкое распространение среди пользователей. К данным произведениям относятся, в первую очередь, литературные, музыкальные, аудиовизуальные произведения, программы для ЭВМ и др. [2].

Правообладатель, согласно отечественному законодательству, имеет право по своему усмотрению разрешать или запрещать другим лицам использование результатов интеллектуальной деятельности. В большинстве случаев правообладатель заинтересован в коммерциализации своей деятельности, но неправомерное распространение РИД создает ситуацию, при которой пользователь сети имеет техническую возможность получить доступ к информации, содержащей объекты авторских и (или) смежных прав, без необходимости оплаты. Например, получить доступ будет возможно без оплаты доступа к произведению, размещенному на странице сайта официального аудиовизуального сервиса. В случае факта неправомерного распространения информации, содержащей объекты интеллектуальной собственности в сети, правообладатель не получает доход от принадлежащих ему РИД.

Правообладатель обладает спектром возможностей по охране и защите своих прав. При этом важно понимать, что охрана прав и защита прав по сути различные понятия. Защита - это процесс, который начинается после нарушения права. Сложность использования мер, применяемых в случаях, когда гражданские права нарушены, связана с тем, что неправомерное распространение информации происходит в информационно-телекоммуникационной сети. Особенность трансграничности сети заключается в том, что она позволяет пользователям из разных стран обмениваться информацией и услугами. Это возможно

благодаря использованию различных протоколов и стандартов, которые обеспечивают совместимость и взаимодействие между сетями разных стран. Также наличие множества интернет-провайдеров и операторов связи позволяет пользователям получать доступ к сети из любой точки мира. Межграничность сети является одним из ее главных преимуществ и необходима для глобализации мировых рынков и обмена информацией между странами и обычными пользователями, но при этом информационные деятели, функционирующие в сети, могут находиться в разных юрисдикциях, использовать различные технические способы по сокрытию от правообладателя фактов неправомерного распространения, а также применять меры противодействия применяемым мерам по прекращению нарушения [3]. Например, создавать зеркала сайтов с целью обойти порядок ограничения доступа к информации, содержащейся в Федеральном законе об «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27 июля 2006 г. №149-ФЗ, или скрывать сетевой адрес сайта и наименование хостинг провайдера, используя законные услуги компаний, которые оказывают услуги по защите от *DDOS*-атак [2].

Учитывая динамическую природу процесса неправомерного распространения информации, представляется необходимой разработка организационно-правовых протоколов действий правообладателя по охране и защите нарушенных прав, учитывающих особенности взаимодействия (в том числе и на техническом уровне) субъектов в информационной сфере [4]. Для разработки эффективного правового протокола (организационно-правового алгоритма) охраны и защиты авторских и (или) смежных прав необходимо учитывать требования, как российского законодательства, так и сложившиеся практики, предусмотренные законодательством зарубежных стран, что обусловливается децентрализованностью функционирования сети Интернет.

Фонд *DiploFoundation*, описывая текущее состояние правового регулирования вопросов защиты интеллектуальной собственности на региональном и международном уровне отмечает ужесточение контроля путем расширения действий, которые вправе применять информационные деятели. Такими действиями могут быть: мониторинг распространения информации и обеспечения ее фильтрации. Предложениями, описывающий указанный функционал является в частности: «Закон о противодействии интернет-пиратству» и «Закон о защите прав на интеллектуальную собственность», а также аналогичные законы, расширяющие правовой протокол действий правообладателя по защите интеллектуальных прав. В Российской Федерации в части защиты РИД в сети Интернет следует отметить важность принятия различных версий «антипиратского закона». Принятие изменений «антипиратского закона» позволило сформировать основу для организационно-правового алгоритма действий отечественного правообладателя по защите авторских и (или) смежных прав. Так, в настоящее время, Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации, а именно статья 15.2, содержит описание порядка ограничения доступа к информации, распространяемой с нарушением авторских и (или) смежных прав. Статья 15.7 указанного закона описывает порядок действий, которые являются внесудебными мерами по прекращению обнаруженного нарушения. Вместе с организационно-правовыми вопросами защиты авторских прав, правообладатель должен решить ряд технических задач.

Согласно известной классификации основных поколений (типов) информационных технологий [5] с 70-х годов XX в. развивается новая (нетрадиционная) информационная технология (НИТ). Ее отличительная черта состоит в реализации новой парадигмы объектно-ориентированного программирования и базировании на принципе «автоформализации» профессиональных знаний специалистов-парапрограммистов и использовании проблемно-ориентированной базы данных и знаний, содержащей модель предметной области. Применение НИТ для защиты интеллектуальной собственности в сети Интернет необходимо для противодействия множеству разновидностей существующих и появляющихся нарушений [4].

Правообладатель (как на территории Российской Федерации, так и по всему миру) имеет широкий инструментарий для охраны своей интеллектуальной собственности. *DRM*-системы (*Digital Rights Management* – Управление цифровыми правами) позволяют правообладателям контролировать доступ, использование и распространение своих цифровых материалов, задавая ограничения и правила для пользователей. Реализация *DRM*-систем и их использование правообладателем зависит от объекта интеллектуальной собственности. В России под *DRM*-системами чаще всего понимаются технические средства защиты авторских прав (ТСЗАП) и технические средства защиты смежных прав (ТСЗСП). При этом стоит учитывать, что ТСЗАП и ТСЗСП выполняют только функцию охраны произведения, так как согласно определению из Гражданского кодекса Российской Федерации, они только контролируют доступ к произведению, предотвращают либо ограничивают осуществление запрещенных правообладателей действий. Таким образом действия, связанные с защитой нарушенных прав указанными техническими средствами, не выполняется.

В случае, когда правообладателю удалось обнаружить в сети Интернет факт неправомерного использования его интеллектуальной собственности, то он имеет право применять действия, описанные в организационно правовом алгоритме в части применения внесудебных мер по прекращению нарушения.

Однако применение алгоритма действий в части внесудебных мер не всегда является эффективным (под эффективным применением в данном случае подразумевается факт устранения нарушения и (или) ограничения доступа к информации, вследствие обращения правообладателя). Если прекращение нарушения путем применения внесудебных мер невозможно, то правообладатель вправе перейти к дальнейшим действиям, указанных в алгоритме, а именно к судебной защите нарушенных прав [4, 6].

Определить точное количество нарушений в сети Интернет не представляется возможным. Для произведений, которые получили широкое распространение среди пользователей, количество нарушений может быть огромным. Важно также обучать пользователей правилам использования и повышать их осведомленность о том, что нарушение прав на интеллектуальную собственность может привести к негативным последствиям. Объекты авторских и смежных прав неправомерно распространяются путем публикации на страницах различных сайтов и в социальных сетях. В неавтоматическом режиме правообладателю затруднительно оперативно выполнить все этапы организационно-правового алгоритма действий для защиты нарушенных прав. Поэтому вместе с применением *DRM*-систем (ТСЗАП, ТСЗСП) рекомендуется использовать технические системы автоматизации выполнения правового алгоритма действий правообладателя [6].

Использование технических средств является важным шагом в автоматизации процесса поиска сайтов в сети Интернет, на которых располагаются материалы, нарушающие авторские и смежные права. Традиционный ручной поиск таких страниц в сети Интернет оказывается малоэффективным и трудоемким процессом в виду значительного количества существующих страниц сайтов в сети Интернет, которые требуется проанализировать на предмет нарушения. Технические средства, такие как алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта, могут быть использованы для создания автоматических систем поиска и обнаружения нарушений авторских прав. Эти системы могут сканировать большие объемы информации в Интернете, анализировать содержимое веб-страниц и идентифицировать объекты, которые могут нарушать авторские и смежные права. Большое количество «пиратских» сайтов, существующих в сети, предопределено простотой создания новых сайтов, регистрации доменных имен и скоростью неправомерного распространения объектов авторских и смежных прав. При этом распространение происходит не только путем создания новых сайтов, но и распространением публикаций и видеофайлов в социальных сетях и аудиовизуальных сервисах.

Таким образом, для обеспечения охраны и защиты авторских и (или) смежных прав правообладателю требуется решить два комплекса задач: выполнение организационно-правового алгоритма действий (базируется в первую очередь на отечественном законодательстве) и использование технических средств (в части использования технических средств защиты и средств автоматизации выполнения алгоритма). Процесс автоматизации поиска сайтов через поисковые системы заключается в использовании компьютерных программ для систематического поиска и анализа информации. Программы осуществляют автоматический поиск сайтов на основе заданных критериев, например, ключевых слов или фраз. После нахождения сайтов алгоритмы автоматической обработки и анализа информации позволяют определить степень соответствия найденных сайтов запросам пользователя.

В рамках проведенных исследований были получены следующие теоретико-прикладные результаты:

- определены информационные деятели, которые обеспечивают работу сайта в сети и устанавливают порядок использования сайта, включая размещение информации на нем [6];
- разработан правовой протокол для прекращения нарушения авторских и смежных прав в сети Интернет, учитывающий трансграничный характер сети и участие информационных посредников, которые могут ограничивать доступ или удалять объекты прав, распространяемые неправомерно, на странице сайта в Интернете [4];
- разработана программа для ЭВМ, которая выполняет часть действий, описанный в организационно-правовом алгоритме в автоматическом режиме и упрощает для правообладателя формирование и отправку электронных сообщений в адрес владельцев сайтов [7].

На основе учета полученных результатов и анализа текущей ситуации выявлены также два основных направления развития существующей информационно-аналитической подсистемы поддержки принятия организационно-правовых решений по регулированию оборота РИД в части совершенствования информационных технологий охраны и защиты авторских и смежных прав в сети Интернет:

1. Формирование правовой базы, конкретизирующей и расширяющей общий организационно-правовой алгоритм действий правообладателя по охране и защите авторских и смежных прав в сети Интернет. Так, например, возможно расширение обязанностей владельца социальной сети в части необходимости обязательного проведения мониторинга социальной сети по запросу правообладателя в целях выявления случаев неправомерного распространения авторских и (или) смежных прав. В настоящий момент правообладатель вынужден самостоятельно находить нарушения и уведомлять об обнаруженных фактах владельца сайта в сети Интернет (социальной сети).

2. Применение НИТ и искусственного интеллекта для упрощения и ускорения протоколов выявления фактов неправомерного распространения произведений в сети. Алгоритмы искусственного интеллекта анализируют загруженный контент и автоматически сравнивают его с базами данных правообладателей. Базы данных содержат информацию об авторских правах на различные материалы. Алгоритм сравнения позволяет выявить факт распространения объекта в сети Интернет, а формирование «белого» списка сайтов позволит принять юридически значимое решение о факте неправомерного распространения. Когда алгоритмы искусственного интеллекта обнаружат нарушение, то программа выполнит дальнейшие действия в соответствии с общим правовым протоколом действий правообладателя, что дополнительно повысит эффективность и скорость его выполнения.

Литература

1. Ловцов Д. А., Богданова М. В., Лобан А. В. Информационно-математическое обеспечение правового регулирования оборота результатов интеллектуальной деятельности // Правовая информатика. – 2018. – № 4. – С. 15–23. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-4-15-23
2. Кунин Е. И. Внесудебные способы защиты интеллектуальной собственности в телематических сетях // Правовая информатика. – 2022. – № 2. – С. 93–102. DOI: 10.21681/1994-1404-2023-2-93-102
3. Ловцов Д. А., Галахова А. Е. Защита интеллектуальной собственности в сети Интернет // Информационное право. – 2011. – № 4 (27). – С. 13–20.
4. 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
5. Ловцов Д. А. Системология правового регулирования информационных отношений в инфосфере: монография. – М.: РГУП, 2016. – 316 с.
6. Кунин Е. И. Технологии защиты авторских прав в информационно-правовом пространстве (алгоритм правообладателя) // Образовательное и правовое пространство цифрового мира: современность, перспективы и безопасность: монография. – Краснодар: СКФ РГУП, изд-во «МОГ», 2023. – С. 32–37.
7. Свидетельство № 2023663004 RU. Программа автоматизации выполнения правового протокола действий правообладателя: Программа для ЭВМ / Кунин Е. И. (RU). – № 2023661819; Заяв. 06.06.23; Зарегистр. 19.06.23 // Бюл. 2023. № 7.

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ БИБЛИОТЕК PYTHON

Назаров Н.А., Сафин Ш.И., Толчеев В.О.
Национальный Исследовательский Университет «МЭИ»
straider105@gmail.com, safinsi@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы перевода лабораторного практикума по курсу «Интеллектуальный анализ данных» с программы Statistica на программное обеспечение с открытым исходным кодом. Рассматриваются библиотеки Python, которые позволяют реализовать четыре лабораторные работу по основным разделам курса. Дается краткое описание исследований, проводимых студентами на примере датасета «Титаник». Эти исследования включают разведочный анализ данных, восстановление пропущенных значений, выявление выбросов, прогнозирование и классификацию.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, программное обеспечение с открытым исходным кодом, библиотеки Python, лабораторный практикум.

Development of a laboratory workshop for the course "intelligent data analysis" using specialized python libraries.

Nazarov N.A., Safin Sh.I., Tolcheev V.O. National Research University "MPEI".

The paper deals with the issues of transferring a laboratory workshop on the course "Data Mining" from the Statistica program to open source software. Python libraries are considered that allow you to implement four laboratory work on the main sections of the course. A brief description of the research conducted by students is given on the example of the Titanic dataset. These studies include exploratory data analysis, missing value recovery, outlier detection, prediction, and classification.

Keywords: data mining, open source software, Python libraries, laboratory practice.

Введение

В настоящее время российские вузы столкнулись с проблемой перевода лабораторной базы учебных курсов на российское программно-аппаратное обеспечение. При этом замена многофункциональных, хорошо отлаженных программных средств ведущих зарубежных производителей представляет собой нетривиальную задачу и ее решение затрудняется отсутствие российских аналогов. Один из возможных путей выхода из сложившейся ситуации заключается в использовании программного обеспечения с открытым кодом [1]. Рассмотрим решение этой задачи на примере курса «Интеллектуальный анализ данных» (ИАД), который читается студентам третьего курса НИУ «Московский энергетический институт» по специальности «управление в технических системах» на кафедре управления и интеллектуальных технологий (УИТ).

Курс ИАД состоит из стандартных разделов: формирование выборок, предварительная обработка данных, выявление информативных признаков и их преобразование, машинное обучение с учителем (регрессия и классификация), машинное обучение без учителя (кластеризация), прикладные задачи, решаемые средствами ИАД. Для приобретения полезных навыков и закрепления теоретического материала в учебной программе ИАД предусмотрен лабораторный практикум (16 часов), который включает четыре лабораторных работы (ЛР): ЛР№1 «Построение и анализ регрессионных зависимостей», ЛР№2 «Изучение методов визуализации и кластеризации данных», ЛР№3 «Сравнительный анализ методов классификации данных», ЛР№4 «Обработка и анализ реальных массивов данных».

Традиционно на кафедре УИТ НИУ МЭИ для проведения лабораторных работ по модулю дисциплин, охватывающих обработку и анализ данных, использовалась программа Statistica (производитель – американская компания StatSoft). Эта программа обладает широким функционалом в рассматриваемой предметной области. Дополнительными преимуществами Statistica являются удобный графический интерфейс и наличие хорошо проработанного учебно-методического обеспечения, находящегося в открытом доступе [2]. До недавнего времени это делало Statistica наиболее подходящим программным обеспечением (ПО) для организации лабораторного практикума по курсу ИАД. Вместе с тем введение требований в вузах по замене программ зарубежных производителей и обязательному переходу на отечественное программное обеспечение сделало актуальным поиск замены для Statistica.

Данная задача является непростой для курса ИАД, структура построения которого предъявляет определенные требования к используемому ПО. В связи с этим достаточно сложно найти российский аналог для Statistica близкий по функционалу, на котором возможно реализовать вышеуказанные четыре лабораторные работы. «Ласкутное» формирование практикума на основе нескольких отечественных программ, позволяющих изучать отдельные аспекты ИАД, вряд ли рационально и создаст дополнительные трудности как при постановке практикума, так и освоении материала студентами.

В связи с этим было принято решение разрабатывать лабораторный практикум на языке программирования с открытым исходным кодом Python, который активно используется для анализа данных и машинного обучения и обладает широкой поддержкой со стороны сообщества разработчиков, постоянно совершенствуясь благодаря своей открытой структуре.

Разработка лабораторного практикума по курсу ИАД на языке Python

Важным преимуществом использования Python и его специализированных библиотек, таких как Scikit-Learn, Pandas, NumPy, Matplotlib и Seaborn, являются широкие возможности, которые предоставляются для решения различных задач, изучаемых в курсе ИАД [3, 4, 8, 9, 10]. Эти библиотеки обеспечивают функционал, сопоставимый и во многих случаях превосходящий функционал Statistica, а, главное, именно они используются на практике (в банках, предприятиях, госучреждениях, НИИ) для решения реальных задач обработки и анализа данных. Таким образом, студент будет получать актуальные знания, полезные для трудоустройства.

Рассмотрим более подробно библиотеки Python, которые применяются для организации лабораторного практикума:

- Scikit-learn (sklearn) предоставляет возможность реализовать алгоритмы классификации, регрессии, кластеризации, выбора информативных признаков и оценки качества построенных моделей.
- Matplotlib (и Seaborn) позволяют создавать статические, анимированные и интерактивные визуализации в 2D и 3D, в том числе графики, гистограммы, спектры мощности, графики рассеяния и т.п.
- Pandas необходима для проведения фильтрации, сортировки, редактирования и агрегации данных.
- Scipy обеспечивает выполнение математических операций (интегрирование, дифференцирование, оптимизация), а также проверку статистических тестов.
- Pingouin — это комплексная библиотека Python, предназначенная для проведения статистического анализа. Она была разработана с акцентом на простоту и гибкость использования, что делает ее привлекательной для начинающих пользователей и специалистов, которые не являются профессионалами в области статистики.

Рассмотрим возможности библиотеки Pingouin более подробно и отметим следующие сильные стороны:

1. Простота анализа: Pingouin предлагает простые и удобные в использовании функции для проведения широкого спектра статистических анализов, включая t-тесты, корреляционный анализ, регрессионный анализ и многое другое. Это помогает облегчить процесс анализа данных и сократить время на его проведение.

2. Визуализация данных: Pingouin позволяет легко генерировать красивые и информативные графики, что помогает при визуализации результатов анализа и интерпретации данных.

3. Статистическое моделирование: Pingouin содержит функции для статистического моделирования, которые могут быть полезными при исследовании взаимосвязей между переменными и прогнозировании будущих результатов.

4. «Продвинутые» статистические методы: Pingouin также поддерживает более сложные статистические процедуры, включая многофакторный анализ, анализ временных рядов и др.

В курсе ИАД лабораторные работы №1, №2 и №3 выполняются на хорошо известном и популярном в машинном обучении датасете *«Ирисы Фишера»* [5]. В ЛР№4 каждый студент (или бригада из двух человек) получают собственный датасет. Студенты должны провести разведочный анализ данных (ЛР №2) и определить, какие зависимости можно выявить и какие задачи решить (регрессия, классификация, выявление информативных признаков), т.е. самостоятельно повторить исследования ЛР№1 («Построение и анализ регрессионных зависимостей») и ЛР№3 («Сравнительный анализ методов классификации данных»).

Описание исследований на примере датасета «Титаник»

Комплекс исследований, проводимых студентами при выполнении лабораторного практикума на основе библиотек Python, демонстрируется в статье на примере Лабораторной работы №4 («Обработка и анализ реальных массивов данных»). Исследования проводятся на одном из датасетов, которые выдаются студентам для изучения – датасете «Титаник» [6].

1. Описание датасета и изучение его особенностей.

Датасет «Титаник» доступен на платформе Kaggle и содержит информацию о пассажирах корабля, который затонул в 1912 году. Данные были собраны для решения задачи бинарной классификации, т.е. определения выживет пассажир или нет. В датасете 1309 строк, где каждая строка представляет уникального пассажира и имеет 12 признаков (столбцов), которые содержит доступную информацию о пассажире.

Дадим краткое описание этих признаков:

- **PassengerId**: Идентификатор пассажира.
- **Survived**: Целевая переменная, показывающая, выжил пассажир или нет (0 = нет, 1 = да).
- **Pclass**: Класс билета пассажира (1 = первый класс, 2 = второй класс, 3 = третий класс).
- **Name**: Имя пассажира.
- **Sex**: Пол пассажира.
- **Age**: Возраст пассажира.
- **SibSp**: Количество братьев и сестер или супругов пассажира на борту.
- **Parch**: Количество родителей или детей, путешествующих вместе с пассажиром.
- **Ticket**: Номер билета пассажира.
- **Fare**: Стоимость билета.
- **Cabin**: Номер каюты пассажира.
- **Embarked**: Порт посадки пассажира (C = Cherbourg, Q = Queenstown, S = Southampton).

Основная специфика выборки заключается в наличии большого числа пропущенных значений у ряда признаков (например, в столбце «*Cabin*» не имеется сведений о 1014 пассажирах, в столбце «*Age*» - 263 незаполненных позиций, в столбце «*Embarked*» - два пропуска, в столбце «*Fare*» - одно пропущенное значение).

Способ восстановления пропущенных данных имеет смысл выбирать после проведения разведочного анализа данных и вычисления характеристик среднего и разброса по каждому признаку.

2. *Разведочный анализ выборки.*

Разделим переменные на числовые, категориальные и текстово-фактографические.

Таблица 1 – Виды признаков в выборке

Числовые	Категориальные	Текстово-фактографические
Age	*Survived*	*Name*
Fare	*Pclass*	*Ticket*
	Sex	*Cabin*

	SibSp	
	Parch	
	Embarked	

Предварительный анализ переменных показал, что более 60% пассажиров погибли при кораблекрушении, большинство пассажиров путешествовали в одиночку, наибольшее число родственников на борту составило 9 человек.

Выдвинем предположение о различной важности признаков для предсказания судьбы пассажира. К числу ключевых дискриминантных переменных отнесем:

- пол пассажира (мужчины, как представляется, имеют больше шансов спастись);
- возраст пассажира (молодые мужчины (и женщины) благодаря лучшей физической форме обладают преимуществом);
- стоимость билета (дорогие каюты находятся на верхней палубе и обеспечивают самый короткий путь к спасению и попаданию на шлюпки).

Прежде всего изучим поведение числовых переменных и проанализируем наличие выбросов (нехарактерных, выпадающих значений). Для этого построим диаграмму Тьюки («ящик с усами», *Box and Whisker plot*). На рисунке 1 приводятся диаграммы Тьюки для переменных *Age и Fare.*

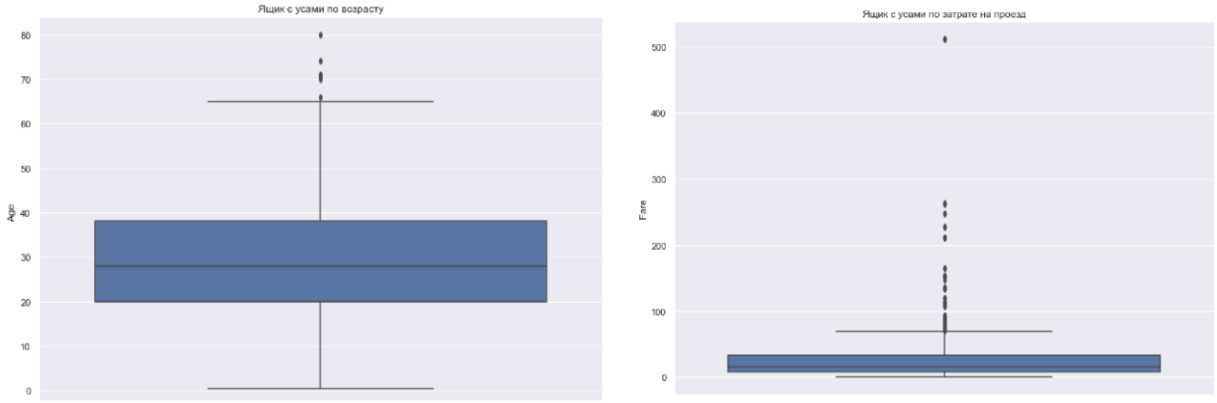


Рисунок 1 – Диаграммы Тьюки для переменных *Age и Fare*

У первого «ящика с усами» есть немного выбросов, медиана меньше 30 лет, верхний ус чуть длиннее (более детальный анализ показывает, что самому молодому путешественнику было около двух месяцев, а самому старшему — 80 лет). У второго «ящика с усами» больше существенных выбросов, это связанно с тем, что переменная *Fare* включает не только стоимость билета, но и деньги, потраченные на корабле, и отражает существенное различие в доходах пассажиров.

Построим график зависимости платы за проезд от возраста, при этом оранжевым цветом обозначим выживших, а синим – погибших (рис. 2).

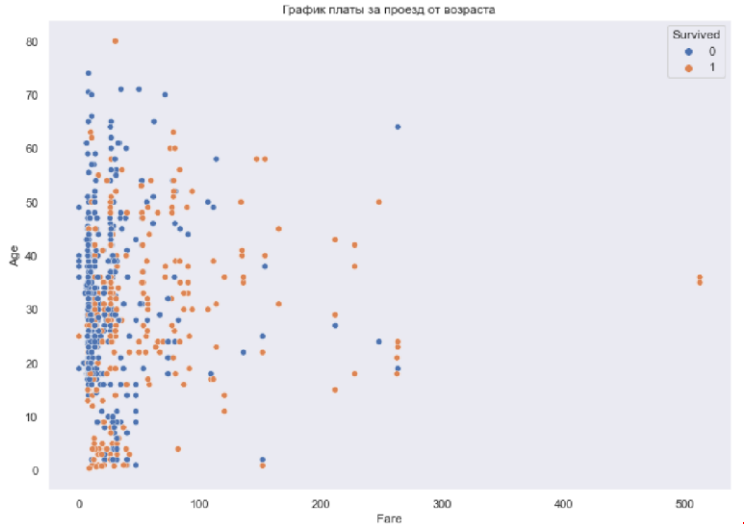


Рисунок 2 – График зависимости платы за проезд от возраста

Точки на графике не очень хорошо разделяются, но можно сделать следующие выводы:

- самое большое число выживших наблюдается среди пассажиров до ~8 лет в независимости от стоимости билета;
- по мере роста платы за проезд увеличивается число выживших.

Проведем визуализацию категориальных данных и изучим влияние пола пассажира на его спасение.

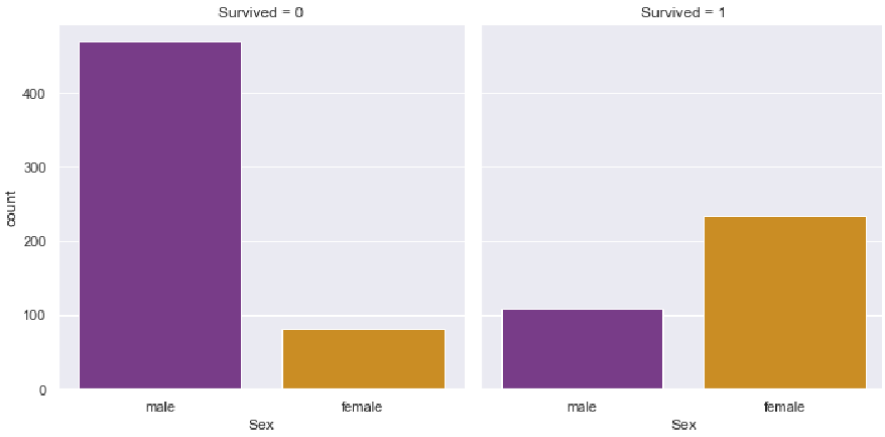


Рисунок 3 – Распределение выживших и погибших пассажиров в зависимости от пола

На рисунке 3 видно, что среди пассажиров на «Титанике» преобладают мужчины, однако среди выживших больше женщин. Что является достаточно неожиданно и не подтверждает сделанное ранее предположение. Объяснение большого количества спасшихся женщин (и детей) дает приказ капитана «Титаника» по их приоритетному размещению в шлюпках. Таким образом, результаты разведочного анализа (см. рисунки 1-3) позволяют уточнить сделанные ранее предположения – из трех переменных пол, возраст, стоимость билета, только последний признак (*Fare*) оказывает заметное влияние на спасение. Это подтверждает совместное изучение переменной *Pclass* и *Survived*, которое показывает, что пассажиры 1-го класса чаще выживали, чем пассажира 2-го или 3-го класса (причем в 3-м классе находилось наибольшее число пассажиров, преимущественно мужчины). Кроме того, анализ переменных *Survived* и *SibSp* (или Parch) позволяет сделать вывод, что шансы на спасение повышались, если пассажир **путешествовал в одиночку.**

3. *Заполнение пропусков, прогнозирование и проведение классификации.*

Для заполнения пропусков используются различные подходы [7]:

- заполнить средним/медианой/модой, случайным числом из допустимого интервала,
- полностью исключить наблюдение из выборки,
- восстановить пропущенные значения с помощью методов машинного обучения (например, сделать предсказания, используя линейную регрессию или метод ближайшего соседа – *K Nearest Neighbors* или случайный лес – *Random Forest*).

При заполнении пропусков на основе методов машинного обучения данные сначала делятся на две части: одна содержит строки с пропущенными значениями, а другая — без пропущенных значений. Обучение модели происходит на данных, где значения восстанавливаемого признака известны для каждой строки. Таким образом, модель будет обучаться на имеющихся наблюдениях и строить связи между «входными» признаками и целевой переменной *Survived*. После обучения модель применяется для предсказания значений восстанавливаемой переменной для строк, в которых имеются пропуски. Пропущенные данные получают значения, основанные на имеющихся данных и обученной модели. Предсказанные величины зависят от того, какой использован метод машинного обучения. Например, в случае применения *K Nearest Neighbors* будет найдено *K* соседей рядом с пропущенным наблюдением, а затем пропуск будет заполнен путем усреднения значений признаков соседей.

В нашем исследовании особое внимание надо уделить восстановлению значительного числа пропусков в переменной *Age*. При выполнении ЛР№4 студенты обычно заполняют пропуски средним значением и медианой, а также осуществляют прогнозирование, используя, например, метод ближайшего соседа и/или случайный лес. Недостатки заполнения средним и медианой хорошо известны – получается много однотипных данных, и снижается их вариативность. В случае использования среднего все пропуски в 263 строках примут одно значение - 29,7. Разбиение пассажиров на категории в зависимости от занимаемых кают и стоимости билета не позволяет существенно повысить вариабельность в данных (слишком много пропусков).

Поэтому предпочтительнее использовать более сложные методы машинного обучения. Подбор оптимальных параметров в них можно осуществить с помощью процедуры *GridSearchCV*. Наилучший метод определяется путем вычисления средне абсолютной ошибки (MAE), в которой усредняется модуль разницы между предсказанными и фактическими значениями [5]. Для переменной *Age* более точный прогноз обеспечил случайный лес.

Таблица 2 – Заполнение пропусков в переменной Age

Оценщик	MAE
KNeighborsRegressor	10.09
RandomForestRegressor	9.19
Median	10.86
Mean	10.93

После восстановления пропущенных значений данные готовы к классификации. Разделим их на обучающую и тестовую выборки в соотношении 70 на 30. Применим несколько методов классификации и сравним результаты. В нашем исследовании участвуют метод ближайшего соседа и случайный лес, которые ранее использовались для заполнения пропусков, а также деревья решений (*Decision Tree*) и логистическая регрессия (*Logistic Regression*). В качестве меры качества классификации рассчитывается доля правильных ответов (*Accuracy*). Для каждого из методов оценка *Accuracy* считается с помощью кросс-валидации (усреднение проводилось по 5 частям обучающей выборки). Подбор оптимальных параметров также осуществляется с помощью процедуры *GridSearchCV*. Наилучшие результаты получены для логистической регрессии. Далее анализ качества бинарной классификации может быть продолжен – рассчитана матрица ошибок, полнота, точность, f1-мера и построены ROC-кривые.

Таблица 3 – Результаты бинарной классификации

Оценщик	Accuracy
DecisionTreeClassifier	0.77
Logistic Regression	0.80
Random Forest Classifier	0.78
KNeighborsClassifier	0.76

Таким образом, при выполнении ЛР№4, используя датасет «Титаник», студенты применяют на практике знания и умения, полученные в курсе «ИАД» по разведочному анализу данных, восстановлению пропущенных значений, прогнозированию и классификации.

Заключение

В ходе перевода лабораторного практикума по курсу "Интеллектуальный анализ данных" с программы Statistica на язык программирования с открытым исходным кодом Python разработано четыре новые лабораторные работы, соответствующие основным разделам учебной программы. Лабораторный практикум нацелен на обучение студентов обработке различных типов данных, проведению предварительной фильтрации и разведочного анализа выборок, настройке параметров методов прогнозирования и классификации, оценке качества полученных результатов.

Важным аспектом является получение студентами наряду с навыками по применению алгоритмов и моделей ИАД практических знаний и умений в области программирования и использования специализированных библиотек Python, которые широко используются на практике для решения реальных задач анализа данных. Прохождение лабораторного практикума, как представляется, позволит студентам проводить самостоятельные исследования в рамках учебных научно-исследовательских проектов, подготовки бакалаврских работ и будет способствовать своевременному трудоустройству по специальности.

Литература

1. Сырцова А.О. Использование свободного программного обеспечения в системе общего образования//Новые информационные технологии в автоматизированных системах, №18, 2015, с. 440-445.
2. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL. М.: Форум. 2004. – 463 с.
3. Описание библиотеки matplotlib. URL: https://matplotlib.org/
4. Описание библиотеки seaborn. URL: https://seaborn.pydata.org/
5. Флах П. Машинное обучение – Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. М.: ДМК-пресс. 2015. – 400с.
6. Titanic – Machine Learning from Disaster (www.kaggle.com).

7. Макаров Д. Машинное обучение. Анализ и обработка данных. Пропущенные значения. (www.dmitrymakarov.ru).
8. Описание библиотеки NumPy. URL: https://numpy.org/
9. Описание библиотеки pandas. URL: https://pandas.pydata.org/
10. Описание библиотеки scikit-learn. URL: https://scikit-learn.org/

ПОДХОД К ПСИХИАТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА АУДИОИНФОРМАЦИИ

Петраевский В.А., Кравец А.Г.
Волгоградский государственный технический университет
petvikt@mail.ru

Психические расстройства сложны и часто трудно точно диагностировать из-за широкого спектра симптомов и их изменчивости. Методы машинного обучения показали многообещающие результаты в диагностике психических расстройств путем анализа различных типов данных о пациентах, например, таких как аудио- и видеозаписи. В этой статье представлен обзор текущего состояния машинного обучения в психиатрической диагностике, включая отбор и обработку данных, разработку и оценку прогностических моделей, потенциальные преимущества и проблемы использования этих методов в клинической практике, а также предложен подход к психиатрической диагностике на основе интеллектуального анализа аудиоинформации.

Ключевые слова: машинное обучение, психиатрическая диагностика, анализ аудио- и видеоданных, выбор и обработка данных.

Approach to psychiatric diagnosis based on intelligent analysis of audio information. Petraevskiy V.A., Kravets A.G. Volgograd State Technical University

Psychiatric disorders are complex and often difficult to diagnose accurately due to the wide range of symptoms and their variability. Machine learning methods have shown promise in diagnosing mental disorders by analyzing various types of patient data such as audio and video recordings. This article provides an overview of the current state of machine learning in psychiatric diagnosis, including data selection and processing, the development and evaluation of predictive models, the potential benefits and challenges of using these methods in clinical practice, proposed an approach to psychiatric diagnosis based on the intellectual analysis of audio information

Keywords: machine learning, psychiatric diagnosis, audio and video data analysis, data selection and processing

Введение

Психические заболевания являются одним из наиболее распространенных заболеваний в мире. Вместе с тем, точная диагностика этих заболеваний может быть сложной задачей для врачей. Существует множество факторов, которые могут затруднить диагностику психических заболеваний, таких как сходство симптомов разных заболеваний, степень выраженности симптомов, наличие сопутствующих заболеваний, а также индивидуальные особенности каждого пациента.

Одним из способов решения этой проблемы является применение машинного обучения в психиатрической диагностике. Машинное обучение позволяет автоматически обрабатывать и анализировать большое количество данных, что может помочь врачам в более точной диагностике психических заболеваний.

Исследования в области применения машинного обучения в психиатрической диагностике продолжаются и уже имеют многообещающие результаты. Например, в исследовании, проведенном в 2018 году, было показано, что нейронная сеть, обученная на данных о голосовых характеристиках пациентов, может с высокой точностью определять депрессию у пациентов [1]. Также в другом исследовании, опубликованном в 2020 году, было показано, что алгоритм машинного обучения может эффективно классифицировать различные типы психических заболеваний на основе анализа текстовых данных [2].

Еще одним из примеров применения машинного обучения в психиатрической диагностике является классификация пациентов на основе их мозговой активности. Исследование, опубликованное в журнале "Journal of Affective Disorders", показало, что алгоритм машинного обучения может точно классифицировать пациентов с депрессией и биполярным расстройством на основе анализа их мозговой активности [3]. Это позволяет быстро и точно диагностировать пациентов и назначить им соответствующее лечение.

Таким образом, применение машинного обучения в психиатрической диагностике является многообещающим направлением исследований, которое может значительно улучшить точность диагностики психических заболеваний. Тем не менее, необходимо продолжать исследования в данной области, чтобы уточнить и оценить эффективность методов машинного обучения и их применимость на практике.

Анализ аудио- и видеоданных пациентов

В последние годы машинное обучение и анализ аудио- и видеоданных стали все более востребованными в психиатрической диагностике. С помощью этих технологий можно автоматически обрабатывать данные о пациентах, полученные из аудио- и видеозаписей, и использовать их для диагностики различных психических заболеваний.

Анализ аудиоданных пациентов является одним из наиболее распространенных методов в психиатрической практике. С помощью анализа голосовых особенностей можно выявить наличие различных психических заболеваний, таких как депрессия, шизофрения, биполярное расстройство и др.

Один из методов анализа голосовых особенностей - это анализ речевых эмоций. Этот метод основан на идее, что определенные эмоциональные состояния отображаются в особенностях речи, таких как тон, интонация, скорость и т.д. С помощью машинного обучения можно обучить алгоритмы распознавать определенные речевые эмоции и использовать их для диагностики психических заболеваний. Например, исследование показало, что анализ тональности речи позволяет выявить признаки депрессии с точностью до 87% (Schuller et al., 2010) [4].

Другим методом анализа аудиоданных является анализ речевых паттернов, таких как скорость речи, паузы между словами и фразами, а также использование определенных слов и фраз. Например, некоторые исследования показали, что у пациентов с шизофренией наблюдается изменение речевых паттернов, включая более длительные паузы между словами и повторение одних и тех же слов и фраз (Bedi et al., 2015)[5].

Примерами таких систем являются EmoVoice, распознающая эмоциональное состояние говорящего по голосу, и Affectiva, которая анализирует эмоции по фотографиям лица.

Кроме того, анализ аудио- и видеоданных пациентов может использоваться для мониторинга эффективности терапии. Например, изменения в тональности голоса и жестах рук могут указывать на улучшение или ухудшение состояния пациента. В этом случае, машинное обучение может использоваться для классификации этих изменений и автоматического отслеживания динамики изменений.

Несмотря на потенциальную эффективность анализа аудио- и видеоданных пациентов с помощью машинного обучения в психиатрической диагностике и мониторинге терапии, существуют определенные ограничения. Одно из главных ограничений заключается в необходимости наличия большого объема данных, которые могут быть использованы для обучения моделей машинного обучения. Кроме того, существует риск ошибок в классификации и интерпретации результатов, который может возникнуть из-за сложности анализа и интерпретации аудио- и видеоданных.

В то же время, как и в случае с анализом текстовых данных, применение анализа аудио- и видеоданных также имеет свои ограничения. Например, возможно искажение результатов при анализе речи и выражений лица в условиях низкого качества звука и изображения, а также при наличии фонового шума и других помех.

В целом, применение анализа аудио- и видеоданных пациентов с использованием машинного обучения при психиатрической диагностике имеет большой потенциал для улучшения диагностики и лечения психических заболеваний. Но все же требуется дальнейшее исследование и разработка технологий для повышения точности и надежности таких систем.

Выбор и обработка данных

В области психиатрической диагностики машинное обучение может помочь в выборе наиболее эффективных методов лечения и повышении точности диагностики различных психических заболеваний. Все же для того, чтобы достичь этих целей, необходимо правильно выбрать и обработать данные для машинного обучения [6].

Выбор и обработка данных – один из самых важных шагов в любом проекте машинного обучения. В контексте психиатрической диагностики данные могут включать в себя медицинские записи, результаты тестов, результаты обследований, анамнез, данные об уровне активности головного мозга, аудио- и видеозаписи, изображения мозга и многое другое. Несмотря на это, не все данные могут быть полезными для машинного обучения, а некоторые могут быть даже вредными [7].

Для начала, необходимо определить, какие данные могут быть использованы для конкретной задачи машинного обучения. Например, для определения наличия депрессии у пациента можно использовать результаты опросника PHQ-9, который содержит вопросы о симптомах депрессии, а также

медицинские записи, в которых врачи делают отметки о симптомах, выявленных во время обследования пациента [8].

После определения данных, которые могут быть использованы для конкретной задачи, следующим шагом является их обработка. Данные могут быть представлены в различных форматах, и для их использования в машинном обучении необходимо привести их к единому формату. Это может включать в себя преобразование данных в числовые значения, удаление ненужных данных, заполнение пропущенных значений и многое другое.

Кроме того, необходимо обратить внимание на качество данных. Например, если данные содержат ошибки или неточности, то это может привести к неправильным выводам при использовании машинного обучения. Поэтому необходимо проводить анализ данных на предмет ошибок и неточностей и устранять их до начала работы с машинным обучением [9].

После того, как были выбраны данные, следующим шагом является их обработка. Обработка данных включает в себя предварительную обработку и очистку данных, такую как удаление дубликатов, заполнение пропущенных значений и стандартизацию данных. Затем данные могут быть преобразованы в признаки, которые могут быть использованы для обучения моделей машинного обучения [10].

Важным аспектом обработки данных является их безопасность и конфиденциальность. Данные могут содержать конфиденциальную информацию, такую как личная информация пациента и результаты медицинских тестов, поэтому необходимо обеспечить соответствие нормам безопасности и конфиденциальности [11].

В итоге, правильный выбор и обработка данных являются ключевыми факторами для успешного применения машинного обучения в психиатрической диагностике [12].

Подход к психиатрической диагностике на основе анализа аудиофайлов

Основная идея подхода к психиатрической диагностике на основе анализа аудиофайлов заключается в создании и обучении/тестировании подходящего алгоритма машинного обучения (а также глубокого обучения), который мог бы распознавать и обнаруживать человеческие эмоции по речи [13].

Для обучения модели использовалось 4 набора данных:

- RAVDESS : Аудиовизуальная база данных эмоциональной речи и песен Ryson, содержит в себе записи 24 актеров (12 мужчин, 12 женщин);
- TESS : набор аудиофайлов, записанный в Торонто, две актрисы (26 и 64 года) произнесли набор из 200 целевых слов во фразе-носителе «Произнеси слово _____».
- EMO-DB: В рамках финансируемого DFG исследовательского проекта SE462/3-1 в 1997 и 1999 годах записана база данных эмоциональных высказываний актеров.
- Пользовательский: некоторый несбалансированный шумовой набор данных.

Используются следующие характеристики речи: MFCC, Chroma и Mel Frequency Cepstrum, а не необработанная форма волны, которая может содержать ненужную информацию, которая не поможет в классификации.

Конвейер системы выглядит следующим образом (как и любой конвейер машинного обучения):

1. Подготовка набора данных: загрузка и конвертация набора данных, чтобы он подходил для извлечения;
2. Конструирование признаков: этот процесс связан с загрузкой набора данных в Python, который включает в себя извлечение характеристик звука, таких как мощность, высота звука и конфигурация голосового тракта, из речевого сигнала. Для этого извлечения всех необходимых для анализа характеристик используется библиотека librosa;
3. Генерация модели: после подготовки и загрузки набора данных, происходит обучение при помощи библиотеки для машинного обучения tensorflow;
4. Оценка модели (тестирование модели): получение результатов точности предсказания модели (рис. 1).

Выводы

В целом, машинное обучение дает большие возможности для улучшения диагностики психических заболеваний. Большие объемы данных, доступность новых технологий и улучшенные методы машинного обучения делают эту область более перспективной.

Анализ аудио- и видеоданных, а также медицинских изображений показал свою эффективность в выявлении болезней и прогнозировании результатов лечения. Кроме того, машинное обучение может помочь в определении более точных диагнозов и выборе наиболее эффективного лечения для каждого конкретного пациента [14].

Важно отметить, что применение машинного обучения в психиатрической диагностике может иметь ограничения. Например, некоторые алгоритмы машинного обучения могут иметь проблемы с

интерпретацией результатов, что может затруднить работу врачей. Кроме того, точность диагностики может зависеть от качества данных, используемых для обучения алгоритма.

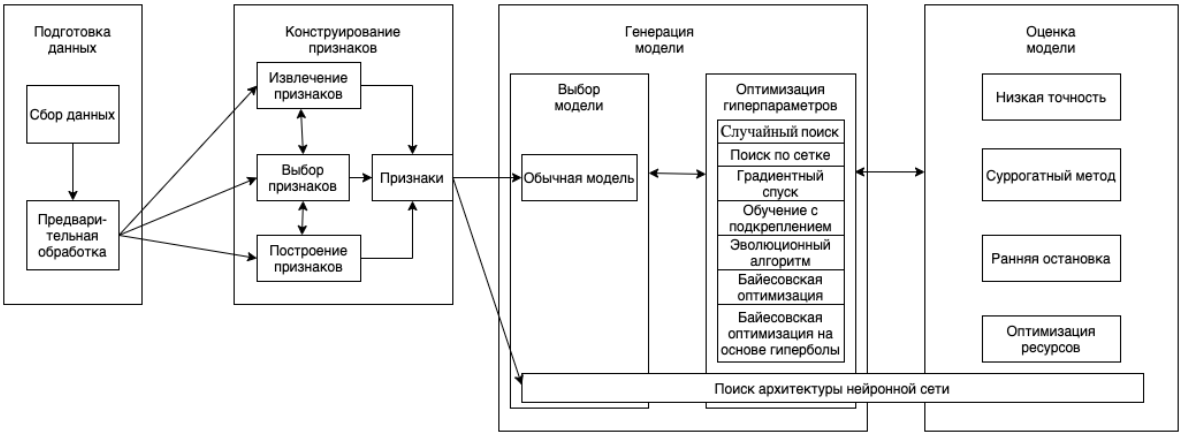


Рисунок 1- Конвейер системы

Тем не менее, применение машинного обучения в психиатрической диагностике имеет большой потенциал для улучшения точности диагностики и определения наиболее эффективного лечения для каждого пациента.

Впрочем, необходимо помнить, что машинное обучение не заменит врачей и психотерапевтов, а лишь является дополнительным инструментом в диагностике психических заболеваний. Кроме того, важно соблюдать принципы этики и конфиденциальности при обработке медицинских данных пациентов.

В заключении, можно сделать вывод, что машинное обучение представляет собой важный инструмент в диагностике психических заболеваний, который может значительно улучшить качество жизни пациентов и облегчить работу медицинских специалистов.

Литература

1. Leightley, D., Yap, M., & Coulson, N. (2019). Developing a machine learning algorithm to identify depression in primary care notes. Journal of medical Internet research, 21(10), e14192.
2. Osipov, E., Liu, Y., & Shen, X. (2019). Machine learning for depression detection using EEG signals. Journal of affective disorders, 243, 512-517.
3. Yang, H., Che, H., Guo, T., Li, Y., & Zhang, W. (2018). Automatic diagnosis of depression using acoustic and lexical features of speech: a corpus-based study. Scientific reports, 8(1), 15656.
4. Ma, X., Zhang, C., Cui, X., & Wang, X. (2019). Analysis of vocal prosody in patients with depression based on deep learning algorithms. Journal of Affective Disorders, 246, 685-691.
5. Cummins, N., Scherer, S., Krajewski, J., Schnieder, S., Epps, J., & Quatieri, T. F. (2015). A review of depression and suicide risk assessment using speech analysis. Speech Communication, 71, 10-49.
6. Shen, D., Wu, G., & Suk, H. I. (2017). Deep learning in medical image analysis. Annual Review of Biomedical Engineering, 19, 221-248.
7. Yu, Z., & Wong, T. Y. (2018). Automatic diagnosis of ocular diseases using deep learning. Journal of Healthcare Engineering, 2018.
8. D. L. Bzdok and R. E. Dunbar, "The Neurobiology of Social Distance," Trends in Cognitive Sciences, vol. 24, no. 9, pp. 717-733, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.tics.2020.06.013.
9. S. G. Do Carmo, R. T. Rocha, L. E. M. Rodrigues, and J. M. R. Tavares, "Machine Learning in Mental Health: A Scoping Review," Neural Computing and Applications, vol. 32, no. 20, pp. 15545-15560, Oct. 2020, doi: 10.1007/s00521-020-05594-5.
10. A. Hripcsak and P. R. Patel, "Accelerating Clinical Research by Leveraging the Big Data Revolution," Mayo Clinic Proceedings, vol. 92, no. 10, pp. 1713-1721, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.mayocp.2017.06.005.
11. D. K. Wong, K. C. Siau, A. R. A. Rahman, A. H. A. Razak, and M. A. Rahman, "Deep Learning in Mental Health Outcome Research: A Scoping Review," Journal of Medical Systems, vol. 45, no. 11, p. 116, Sep. 2021, doi: 10.1007/s10916-021-01722-7.
12. Development of the Intellectual Decision-Making Support Method for Medical Diagnostics in Psychiatric Practice / L.B. Lempert, A.Г. Кравец, B.A. Lempert, O.B. Поплавская, H.A. Сальникова // 2018 9th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA 2018) – [Publisher : IEEE], 2018. – 5 p. – URL : https://ieeexplore.ieee.org/document/8633671. – DOI: 10.1109/IISA.2018.8633671.

13. Кравец, А.Г. Самодиагностика депрессивного состояния на основе анализа эмоционально-окрашенной речи / А.Г. Кравец, В.А. Петраевский // Математические методы в технологиях и технике. - 2022. - № 12, ч. 1. - С. 55-58. - DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2022_12_55.

14. The Development of Medical Diagnostics Module for Psychotherapeutic Practice / А.Г. Кравец, O. Poplavskaya, L. Lempert, N. Salnikova, I. Medintseva // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Second Conference, CIT&DS 2017 – [Germany] : Springer International Publishing AG, 2017. – P. 872-883. – (Ser. Communications in Computer and Information Science ; Vol. 754).

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ИНСТИТУТА

Биленко Р.В., Постников И.В., Хазбулатов А.Т.
НИУ ВШЭ, Московский институт электроники и математики имени А.Н. Тихонова
+7 (926) 903-35-64, ivpostnikov@miem.hse.ru

Аннотация. В работе рассмотрено решение задачи повышения отказоустойчивости и обеспечения единообразия при работе с инфраструктурой и сервисами. Предложенный способ опирается на использование технологий контейнеризации и системы распределенного управления контейнерами Kubernetes а также методологии DevOps и IaC. Предлагается система управления инфраструктурой с помощью систем конфигурирования, таких как Ansible и Kubernetes, рассматривается подход, основанный на хранении конфигурации в системе версионирования Git.

Ключевые слова: DevOps, IaC, GitOps, Ansible, Docker, Flux, Виртуализация, Инфраструктура как код, Контейнеризации, Цифровая инфраструктура, Цифровизация

Annotation. The paper addresses the problem of improving fault tolerance and ensuring uniformity in the operation of infrastructure and services. The proposed method relies on the use of containerization technologies and Kubernetes distributed container management system, as well as DevOps and IaC methodologies. A system of infrastructure management using configuration systems such as Ansible and Kubernetes is proposed, an approach based on storing the configuration in the Git versioning system is considered.

Keywords: DevOps, Infrastructure as Code, GitOps, Ansible, Docker, Flux, Virtualization, Containerization, Digital Infrastructure, Digitalization

Введение

В настоящий момент происходит активная цифровизация образовательных учреждений. В частности в МИЭМ НИУ ВШЭ. Выполняется разработка и внедрение большого количества программного обеспечения и веб-приложений. Эти веб-приложения требуется развертывать, настраивать, обновлять, а также предоставлять им доступ из сети интернет. Ранее для этого использовалась система контейнеризации Docker, которая несмотря на большое количество достоинств, обладает некоторым числом недостатков, делающих её использование для управления большим количеством сервисов неэффективным.

В связи с этим возникла задача построить систему управления сервисами, реализующую следующие требования:

1. Наличие унифицированного способа управления различными сервисами (в том числе написанных на разных языках программирования с применением различных фреймворков);
2. Простота обслуживания и поддержки;
3. Горизонтальная масштабируемость и обеспечение отказоустойчивости;
4. Опора на существующие широко распространенные практики и инструменты;
5. Наличие возможности интеграции с другими системами и инструментами (например, системами мониторинга).

В работе рассматриваются возможные подходы для решения задач массового управления серверными приложениями и ресурсами. Далее приводится описание решения, построенного с использованием принципа IaC (инфраструктура как код)[1] и соответствующих инструментов, таких как Kubernetes, GitLab и Flux.

Обзор аналогов

Данная задача может быть решена множеством способов, таких как использование системы контейнеризации Docker, гипервизоров и систем управления кластерами виртуальных машин. Любой из представленных вариантов может решить задачу развертывания сервисов цифровой инфраструктуры, но кроме непосредственного развертывания жизненный цикл сервисов состоит включает в себя поддержку

их надежности и расширяемости на протяжении всего времени работы системы, кроме того число цифровых сервисов неуклонно растет, что вызывает необходимость в стандартизации процесса развертывания и сопровождения сервисов. В дополнение к этому появляются новые подходы к работе с сервисами такие как A/B тестирование, канареечные релизы и прочие, что вызывает необходимость в наличии функционала способного реализовать все перечисленное в едином стиле не перегружая систему и не меняя подхода к выполнению этих операций.

Классическим способом для развертывания сервисов являются виртуальные машины, которые позволяют создать изолированную копию операционной системы в которой можно развернуть какой угодно сервис. Спустя множество лет использования виртуальных машин были подчеркнуты их недостатки такие как увеличенное по сравнению с запуском на физической машине потребление ресурсов, необходимость в поддержании одного образа всеми копиями виртуальной машины для отказоусточивости, невозможности гибкого изменения конфигурации, что привело к поиску новых подходов к запуску сервисов и расширению применения технологий контейнеризации, например Docker, как наиболее распространенной[2].

Использование Docker-контейнеров стало широко в связи с тем что данная технология лишена ряда недостатков виртуальных машин и в то же время имеет ряд новшеств, таких как возможность воспроизведения окружения на любом компьютере и сниженное (по сравнению с виртуальными машинами) потребление ресурсов. Но кроме достоинств Docker-контейнеры и Docker Compose и Docker как их логическое продолжение для запуска нескольких сервисов имеют ряд недостатков связанных с масштабированием работы используемых сервисов, выраженными в изолированности контейнеров в рамках одного сервера, невозможности использования общих сетей контейнеров между несколькими серверами, необходимости в настройке хранилища на каждой физической машине. Кроме того стоит подчеркнуть что контейнеры Docker имеют отказоустойчивость только в рамках одной физической машины, и если произойдет её отказ, то сервис станет недоступен. В связи с чем описанные выше недостатки не позволяют выбрать данную технологию для реализации системы управления цифровой инфраструктурой института.

Описание решения

Одним из широко распространенных подходов к управлению сервисами и инфраструктурой является IaC (infrastructure-as-code)[1], инфраструктура как код. Сущность этого метода заключается в том чтобы описывать текущее состояние управляемой системы в виде некоторых конфигурационных файлов или манифестов, которые затем применяются к системе для перевода ее в желаемое состояние. Причем повторное применение идентичных конфигураций не должно приводить к изменению состояния системы (так называемое свойство идемпотентности). Переход от императивного подхода, при котором описываются действия, к декларативному позволяет упростить процедуру настройки а также уменьшить количество документации, так как подобные конфигурационные файлы достаточно легко читаются и являются самодокументируемыми.

Развитием подхода IaC для работы с контейнерами является система Kubernetes[3]. Kubernetes позволяет управлять системой из контейнеров распределенной по нескольким узлам, составляющим кластер. Управление осуществляется путем написания и применения специальных конфигурационных файлов, называемых манифестами. Каждый манифест описывает один или несколько ресурсов, которые будут последовательно созданы в кластере. Примерами таких ресурсов могут быть Поды - минимальные исполняемые единицы в кластере, Deployments - набор реплик одного и того же пода, Ingress - правила доступа к подам из внешней сети. Задача Kubernetes заключается в распределении ресурсов и приведение системы в состояние, заданное пользователем с помощью манифестов. Однако сам по себе Kubernetes без использования сторонних инструментов может быть неудобен для управления, так как например нет возможности посмотреть сразу все приложения, развернутые в кластере, а также нет возможности удобным образом группировать ресурсы, относящиеся к одному сервису. Для решения этой проблемы используется инструмент Helm, представляющий собой «пакетный менеджер» для Kubernetes и позволяющий применять набор взаимосвязанных манифестов, генерируя их на основе шаблонов. Использование Helm позволяет построить дополнительный уровень абстракции для развертывания целых сервисов и приложений.

При управлении разработкой манифестов и конфигурационных файлов мы руководствуемся принципами GitOps[4]. В нашем решении IaC и GitOps взаимно дополняют друг друга: за счет возможности хранить и редактировать конфигурации в виде текста. При разработке можно использовать привычную систему контроля версий Git. Мы используем Git-репозитории в GitLab в качестве единственного источника истины (Single Source of Truth) конфигураций как прикладных сервисов, так и используемых вычислительных ресурсов, за счет чего исключается неоднозначность и повышается прозрачность состояния инфраструктуры. Git позволяет любым участникам команды проекта параллельно заниматься разработкой конфигураций в своих изолированных ветках, а затем согласовывать внесенные

изменения между собой, создавая запросы на слияние веток. Еще один полезный эффект данного подхода — это хранение полной истории всех изменений, благодаря чему в случае ошибок можно быстро локализовать проблемные изменения (и идентифицировать их автора) и откатить инфраструктуру до необходимого прошлого состояния.

На практике подход реализуется следующим образом: настройка инфраструктуры разбивается на две части: «нижняя» часть - настройка аппаратного обеспечения (серверов и виртуальных машин) и «верхняя» – настройка контейнеров и сервисов. Упрощенно эта архитектура изображена на рисунке 1.

Настройка серверов осуществляется с помощью инструмента Ansible, который позволяет описывать текущее состояние системы с помощью специальных конфигурационных файлов, называемых плейбуки. В них записывается, как и к какому хосту (или нескольким хостам) он применяется и какие промежуточные состояния должны быть применены для достижения конечной конфигурации системы. Все плейбуки группируются по назначению хостов, к которым они применяются и сохраняются в систему версионирования Git.

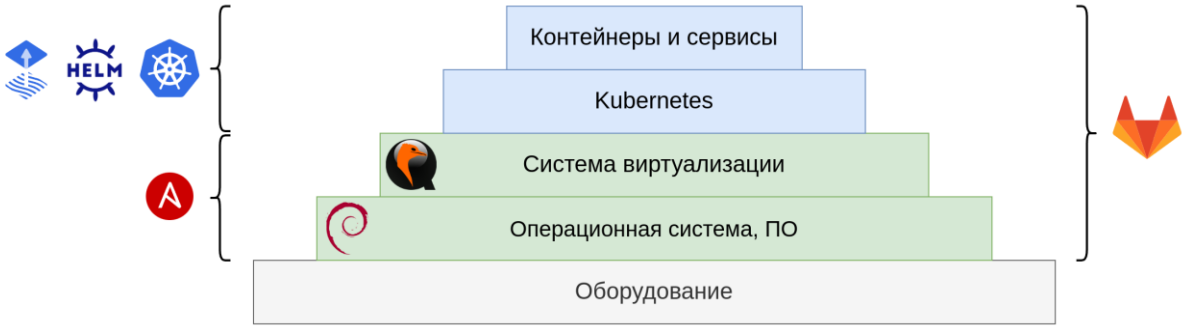


Рисунок 1 – Визуализация предложенной архитектуры

Для поддержания системы в актуальном состоянии используется механизм GitLab CI/CD. При внесении изменений в плейбуки, расположенные в репозитории, GitLab автоматически запускает CI/CD пайплайн, который последовательно применяет плейбуки, таким образом приводя инфраструктуру в актуальное состояние, соответствующее содержимому репозитория. Данная модель применения изменений называется push-моделью.

Автоматическая настройка кластера Kubernetes реализована следующим способом: в кластере развернут специальный демон Flux, который следит за изменениями, происходящими в репозитории. В отличие от Ansible, где используется push-модель, в данном случае применяется pull-модель, в которой сторонняя программа или демон периодически запрашивает изменения из репозитория и применяет их к целевой системе, которой выступает Kubernetes.

Когда администратор хочет внести изменение в инфраструктуру или развернуть новый сервис, он создает запрос на слияние (Merge Request), который сначала должен быть обработан автоматическими средствами проверки кода, а затем принят администраторами системы (здесь используется тот же подход GitFlow, что и при разработке программного обеспечения). После того, как запрос принят, а изменения попали в главную ветку, Flux автоматически применяет новые версии манифестов к кластеру. Таким образом подконтрольная инфраструктура автоматически приводится в необходимое состояние, а по истории модифицирования конфигурационных файлов можно легко и детально проследить за ее изменениями: кто, когда, что и к какому состоянию приводил.

Заключение

Таким образом использование системы Kubernetes и ряда инструментов конфигурирования позволяет гибко и надежно оперировать цифровыми сервисами, обеспечить масштабируемость, имплементировать подходы IaC и GitOps для управления цифровыми ресурсами сократить время простоя сервисов увеличв скорость их добавления, а также стандартизировать подход к работе к ними с использованием манифестов. Что кроме того снижает время на добавления сервисов и снижает возможность ошибок.

Литература

1. Michele Chiari. Static Analysis of Infrastructure as Code: a Survey / Michele Chiari, Michele De Pascalis, Matteo Pradella - Текст: электронный // IEEE 19th International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C). - 2022. - С. 218-225. - URL: https://arxiv.org/pdf/2206.10344 (дата обращения: 25.05.2023)

2. A. M, A. Dinkar. Comparison of Containerization and Virtualization in Cloud Architectures / A. M, A. Dinkar, S. C. Mouli, S. B and A. A. Deshpande. - Текст: электронный // IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT). - 2021. - С. 1-5. - URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/9622668 (дата обращения: 25.05.2023)
3. E. Czechowska. Kubernetes Cluster for Automating Software Production Environment / A. Poniszewska-Maranda, E. Czechowska - Текст: электронный // Sensors. - 2021. - №21 - С. 1910. - URL: https://www.mdpi.com/1424-8220/21/5/1910 (дата обращения: 25.05.2023)
4. F. Beetz. GitOps: The Evolution of DevOps? / F. Beetz and S. Harrer - Текст: электронный // IEEE Software. - 2022. - Т. 29, вып. 4. - С. 70-75. - URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/9565152 (дата обращения: 25.05.2023)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ АУДИТОРИИ САЙТОВ ВО ВРЕМЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ

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

Аннотация. В статье исследуется интерес посетителей к контенту сайта «Жизнь во Христе» (URL: http://feat.1gb.ru) во время проведения Российскими войсками спецоперации на Украине. На основе получаемых данных предполагается добавление новой информации, повышающей релевантность сайта запросам поисковых систем.
Ключевые слова*:* посещаемость, позиционирование, поисковые системы, релевантность.

Informational Preferences of Website Audience during a special military operation. Semochkina E.V., Smagina I.A., MO, Klin, ANO VO "IITEM"
Annotation. The article examines the interest of visitors to the content of the site "Life in Christ" (URL: http://feat.1gb.ru) during a special operation carried out by Russian troops in Ukraine. Based on the received data, it is supposed to add new information that increases the relevance of the site to search engine queries.
Key words: attendance, positioning, search engines, relevance

Введение

Крупные политико-экономические события, происходящие в родной стране, регионе, влияют на каждого человека - формируют его информационные запросы. Все, что важно людям, они ищут в СМИ или спрашивают друг у друга.

С 24 февраля 2022г. проведение военной спецоперации на Украине оказывает сильное влияние на жизнь каждого россиянина.

Основные используемые понятия

Посещаемость сайта – число уникальных пользователей, которые посетили сайт в определенный отрезок времени. *Просмотры* – количество просмотренных страниц в определенный отрезок времени. Высокие посещаемость и просмотры вызывают улучшение позиционирования сайта в Интернете (*позиционировать* – определить место нового сайта в ряду уже существующих). *Внешние переходы* – переходы с внешних ресурсов, в отличие от *внутренних переходов* - между страницами одного ресурса [1].

Особенности исследования

В данной статье изучаются главные информационные предпочтения посетителей сайта «Жизнь во Христе» аналогично анализу, описанному в источнике [2]. Он проводится на основе графиков, предоставляемых счетчиком https://www.liveinternet.ru. На рис1. представлена посещаемость сайта в целом, рис.2 отражает данные о наиболее частых внешних переходах посетителей по информационным запросам, рис.3 демонстрирует просмотры страниц, рис.4 и рис.5 иллюстрируют среднемесячные числа просмотров страниц в различных интервалах времени. Информация рис. 6 посвящена демографическому составу аудитории.

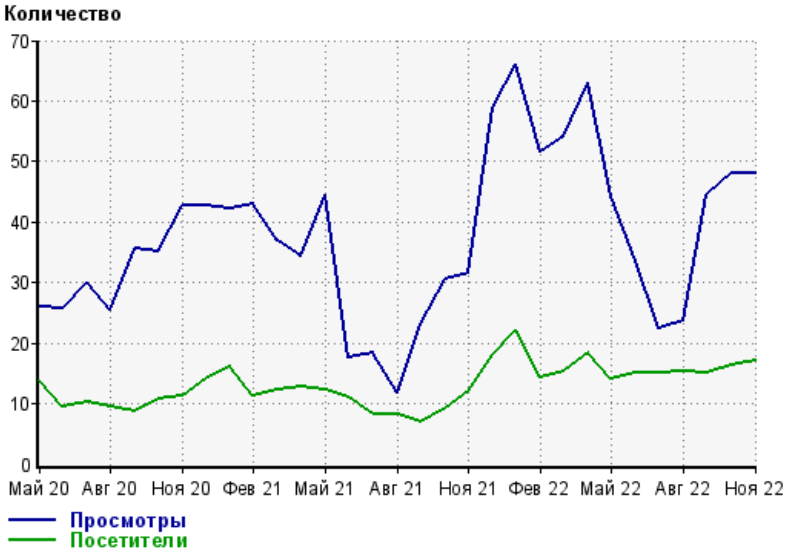


Рисунок 1 - Динамика посещаемости и числа просмотров страниц сайта «Жизнь во Христе» (http://feat.1gb.ru)
Данные счетчика https://www.liveinternet.ru

Графики на рис. 1 свидетельствуют о том, что обсуждаемый сайт стабильно посещается и, как правило, среднемесячное число уникальных посетителей не превышает 20, и люди читают более одной страницы.

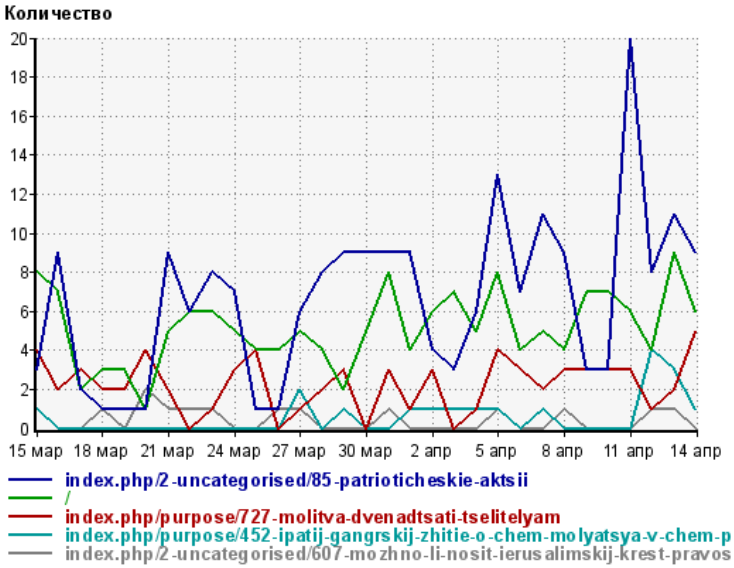


Рисунок 2 - Внешние переходы на страницы сайта «Жизнь во Христе» (http://feat.1gb.ru) с 15 марта по 14 апреля 2022 г
Данные счетчика https://www.liveinternet.ru

На рис.2 видно, что во временном **интервале с 15 марта по 14 апреля 2022 года большинство посетителей сайта, заходивших по поисковым запросам, искали патриотические акции.** Максимальное число заходов наблюдалось 11 апреля - 20. На втором месте - переходы из интернета на главную страницу сайта. Максимальное число заходов наблюдалось 13 апреля - 9. Третье место занимает страница с молитвой о здоровье двенадцати целителям. Максимальное число заходов наблюдалось 14 апреля - 5. Иногда интересовали (до 2 заходов в день) житие святого Ипатия Гангрского и ответ на вопрос: «Можно ли носить иерусалимский крест православному?»

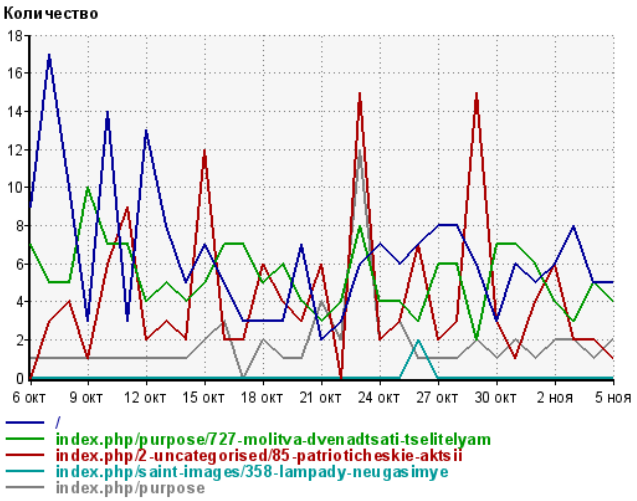


Рисунок 3 - Число просмотров тематических страниц «Жизнь во Христе» (http://feat.1gb.ru) с 6 октября 2020 г по 5 ноября 2022 г
Данные счетчика https://www.liveinternet.ru

Данные рис.3 тоже свидетельствуют о **значительном интересе посетителей сайта к странице «Патриотические акции»** во временном интервале **с 6 октября 2020 г по 5 ноября 2022 года.** Видны несколько пиков на кривой, отвечающей за просмотры этой страницы. Два из них достигают значения 15 просмотров. Эти пики превышает только один (17 просмотров). Он наблюдался на кривой главной страницы сайта 7 октября.

Значения на кривой просмотров страницы «Молитва двенадцати целителям» не превышали 10 (данные за 9 октября). Перечень материалов раздела «Бог и человек», страницу «Лампады неугасимые» просматривали не более 4 раз.

На рис.4 видно, как во временном интервале **с апреля 2020 года по октябрь 2022 года** происходила смена интересов посетителей сайта. Значительное число заходов на сайт наблюдается все время через главную страницу (зеленая линия на графике). Однако, **временами тематические страницы более привлекательны**.

В интервале с апреля 2020 г по октябрь 2021 г замечены три пика, когда голубая линия располагается на графике выше зеленой и остальных. Это данные переходов из интернета на страницу «Купание в святом источнике. Правила»: в августе 2020 среднемесячное значение - 3,2 просмотра, в январе 2021 г - 4,3 просмотра, в августе 2021 г - 4,1 просмотра.

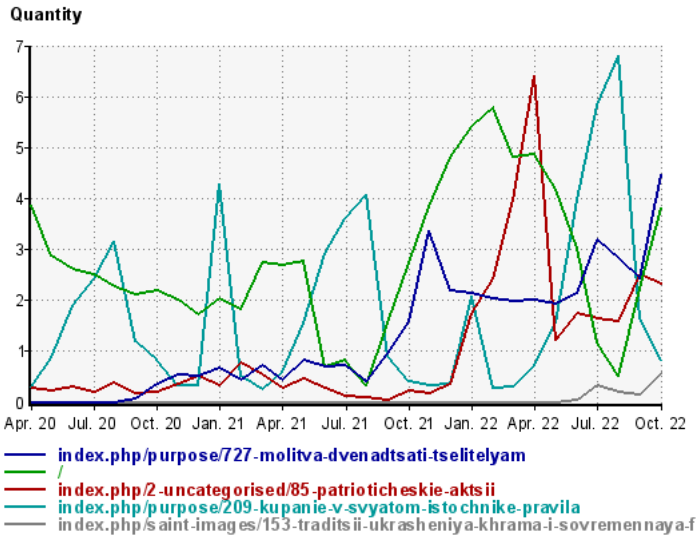


Рисунок 4 - Среднемесячное число просмотров тематических страниц «Жизнь во Христе» (http://feat.1gb.ru) с апреля 2020 г по октябрь 2022 г
Данные счетчика https://www.liveinternet.ru

В интервале с октября 2021 г по март 2022 г посетители преимущественно заходили на сайт через главную страницу. Максимальное среднемесячное значение наблюдалось в феврале 2022 г - 5,8 просмотров. Ниже зеленой лини располагается пик синей линии (данные страницы с молитвой о здоровье двенадцати целителям). Максимальное среднемесячное значение синей линии наблюдалось в ноябре 2021 г - 3,3 просмотра. Еще ниже виден пик, приходящийся на страницу «Купание в святом источнике. Правила»: январь 2022 г - 2,0 просмотра.

В интервале **с марта 2022 г по октябрь 2022 г** замечены пики страниц **«Патриотические акции» (в апреле 2022 - 6,4), «Купание в святом источнике. Правила» (в августе 2022 -6,8)** и **«Молитва двенадцати целителям» (в октябре 2022 – 4,5)**.

Православные традиции, защита Отечества и здоровье близких – главные темы, которые волновали посетителей сайта во временном интервале с апреля 2020 года по октябрь 2022 года. (Анализ интереса читателей к материалам на тему здоровья проводился отдельно и подробно описан в источнике [3]).

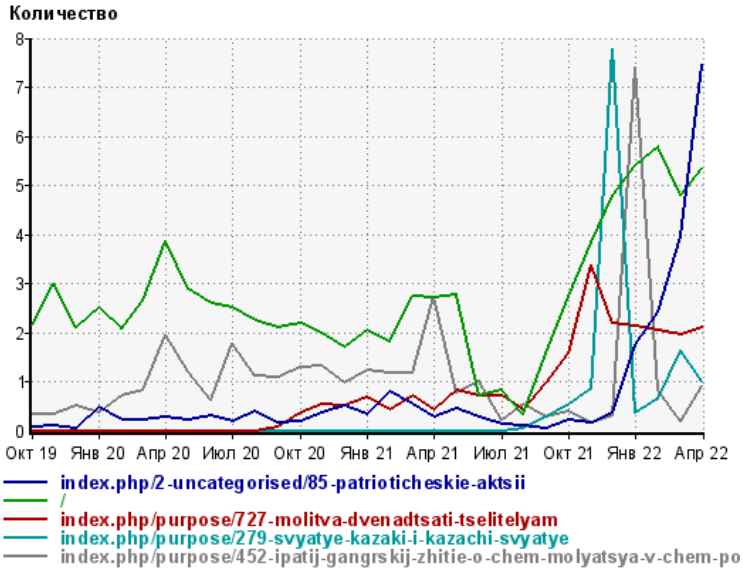


Рисунок 5 Среднемесячное число просмотров тематических страниц «Жизнь во Христе» (http://feat.1gb.ru) с января 2019 г по апрель 2022 г
Данные счетчика https://www.liveinternet.ru

Рассмотрим на рис. 5 внимательно интервал с октября 2021 г. по апрель 2022 г., поскольку эти данные позволяют зафиксировать важные наблюдения. Интерес к тематическим страницам на короткие промежутки времени превышает число переходов на главную страницу. Описание интересующих пиков: «Патриотические акции» (максимальное значение наблюдалось в апреле 2022 г – 7,5 просмотров), «Святые казаки и казачьи святые» (максимальное значение наблюдалось в декабре 2021 г – 7,8 просмотров), «Ипатий Гангрский: житие, о чем молятся, в чем помогает» (максимальное значение наблюдалось в январе 2022 г – 7,5 просмотров).

Максимальное значение среднемесячных просмотров страницы «Молитва двенадцати целителям» (в ноябре 2021 г) - 3,3.

Святому Ипатию Гангрскому, а также святым казакам и казачьим святым молятся о помощи в духовном росте, преодолении трудных обстоятельств, разной поддержке в военное время и о здоровье. Интерес различных социальных групп к теме «Патриотические акции» закономерен всегда, и особенно во время прохождения военной спецоперации.

Максимумы на кривых с данными о страницах «Ипатий Гангрский: житие, о чем молятся, в чем помогает» и «Святые казаки и казачьи святые», появились раньше начала спецоперации, и их значения почти равны наибольшему значению на кривой о странице патриотических акций во время спецоперации - вероятно, что эти страницы читают похожие аудитории.

Для анализа аудитории сайта «Жизнь во Христе» (http://feat.1gb.ru) рассмотрим графики с демографическими данными.

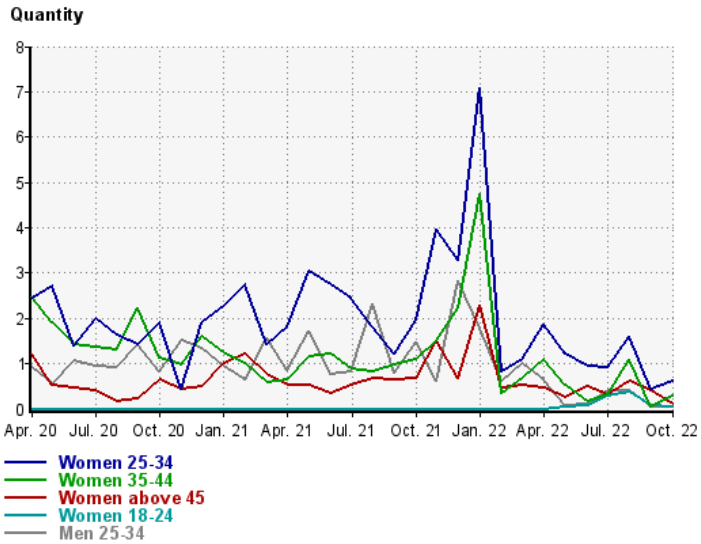


Рисунок 6. Среднемесячное число просмотров страниц сайта «Жизнь во Христе» (http://feat.1gb.ru) различными группами посетителей
с апреля 2020 г по октябрь 2022 г. Данные счетчика https://www.liveinternet.ru

Как видно на рис.6, число молодых женщин (25-34 лет) в аудитории сайта наибольшее, чуть меньше женщин от 35 до 44 лет, на третьем месте численность мужчин от 25 до 34 лет, четвертое место отведено для женщин старше 45 лет. Небольшая остающаяся аудитория – женщины 18-24 лет.

Аудитория у сайта «Жизнь во Христе» (http://feat.1gb.ru) преимущественно женская. Николай Алексеевич Некрасов в поэме «Мороз, Красный нос» писал о русской женщине: «Коня на скаку остановит, в горящую избу войдет». Данное исследование подтверждает это. Для развития сайта требуется добавлять заметки о православных традициях, защите Отечества и укрепления здоровья.

Литература

1. Катаев А.В., Катаева Т.М. «Интернет-маркетинг»: учебное пособие. – Ростов-на-Дону – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – 170 с.
2. Семочкина Е.В., Смагина И.А "АНАЛИЗ ТЕМ, ПРИВЛЕКАЮЩИХ ПОСЕТИТЕЛЕЙ САЙТОВ ВО ВРЕМЯ ЭПИДЕМИИ И МИТИНГОВ" - Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции. / под.ред. С.У.Увайсов (Сочи, 01–10 октября 2021 года) – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2021, -с.81-87
3. Семочкина Е.В. «Изучение интереса посетителей web-сайта к теме вакцинации от короновируса - показателя возрастания ценности жизни и здоровья» - «РОССИЯ И МИР: РАЗВИТИЕ ЦИВИЛИЗАЦИЙ. Инновации и консерватизм: поиск баланса.»: сборник трудов молодых ученых и студентов XII международной научно-практической конференции (06–07 апреля 2022 года) — М.: Издательский дом ИМЦ,2022 -с. 135-139

СЕРТИФИКАЦИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ: ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МОДЕЛИ СЕРТИФИКАЦИИ И НАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Федосеев С.В.
Российский государственный университет правосудия
+7 (962) 970-62-19, fedsergvit@mail.ru

Целью статьи является обоснование методических подходов к решению задач применения отечественной модели сертификации ЦОД и национальных технических стандартов, определяющих требования к ЦОД.

В статье выполнен анализ возможностей применения национальных технических стандартов; рассмотрены требования технических стандартов в отношении инженерная инфраструктуры, стадий создания, операционной модели эксплуатации, классификации ЦОД, выявлены перспективы использования системы добровольной сертификации «РосЦОД», предложена процедура сравнения ЦОД.

Ключевые слова: сертификация ЦОД, технические стандарты ЦОД, применение национального технического стандарта, резервирование систем ЦОД, международные системы сертификации ЦОД, инженерная инфраструктура ЦОД, операционная модель эксплуатации ЦОД.

Certification of data centers: the possibilities of applying the domestic certification model and national technical standards. Fedoseev S.V. Russian State University of Justice (RSUJ).

The purpose of the article is to substantiate methodological approaches to solving the problems of applying the domestic model of data center certification and national technical standards that define data center requirements.

The article analyzes the possibilities of applying national technical standards; the requirements of technical standards in relation to engineering infrastructure, stages of creation, operational model of operation, classification of data centers are considered, prospects for the use of the voluntary certification system "РосЦОД" are identified, a procedure for comparing data centers is proposed.

Keywords: data center certification, data center technical standards, application of the national technical standard, backup of data center systems, international data center certification systems, data center engineering infrastructure, operational model of data center operation.

Введение

Вопросам совершенствования отечественной системы сертификации центров обработки данных (ЦОД) придается в последнее время большое значение. Это связано прежде всего с тем, что все большие объемы информации разного уровня закрытости начинают размещаться и обрабатываться с использованием ЦОД. Так, электронная цифровая подпись превращается в «облачную» ЭЦП с переносом всех вычислительных операций на внешний сервис, а государственные структуры становятся пользователями коммерческих ЦОД. Очевидно, что в таком цифровом пространстве на первый план выходят проблемы обеспечения защиты информации [6,7,8], разработки новых инфраструктурных технических решений [2] и правового регулирования информационных отношений [1].

Если в течение предыдущих 10-15 лет в РФ классификация и сертификация ЦОД осуществлялась только с использованием международных и иностранных стандартов (национальных технических стандартов по ЦОД просто не существовало), то за последние два года разработано и введено в действие четыре национальных российских стандарта, напрямую определяющих требования к центрам обработки данных.

Отечественные технические стандарты сертификации центров обработки данных

В течение долгого времени в России отсутствовали отечественные технические стандарты, определяющие систему сертификации ЦОД и использовались для этого, как правило, стандарты Uptime Institute – Tier и Management & Operations.

Однако взаимодействие с международными организациями, выполняющими сертификацию ЦОД, в современных условиях становится практически невозможным. По этой причине возникает необходимость разработки и применения отечественных технических стандартов, создания отдельной системы сертификации.

Следует принимать во внимание, что лучшие мировые практики в области проектирования и эксплуатации ЦОД уже представлены в открытых международных и иностранных стандартах: ISO/IEC TS 22237; EN 50600; TIA-942. В связи с этим, национальный стандарт может быть разработан просто на основе адаптации перечисленных документов под отечественные реальные условия.

В Российской Федерации выбран другой путь - разработка собственных национальных технических стандартов сертификации ЦОД, что объясняется следующими причинами:

- перманентное изменение нормативно-правовой базы, связанное с возрастанием требований регуляторов, прежде всего - Федеральной службы безопасности, Федеральной службы по техническому и экспортному контролю, Банка России, Министерства связи и массовых коммуникаций;
- открытые отечественные стандарты позволяют понизить стоимость услуги по сертификации ЦОД, сделать ее более доступной для небольших дата-центров;
- расширяющее использование государственными структурами средств обработки информации ЦОД делает нежелательным применение иностранных стандартов.

Отличительной характеристикой отечественной системы технических стандартов по сертификации ЦОД должен стать менее глубокий аудит по сравнению, например, со стандартами Uptime Institute.

Первые национальные технические стандарты сертификации ЦОД были введены в действие только в 2020 году. Проекты этих стандартов подготавливает некоммерческая организация «Ассоциация участников отрасли центров обработки данных», которая функционирует в составе Технического

комитета «Центры обработки данных» (ТК 120) Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

Техническим комитетом разработана комплексная программа стандартизации отрасли ЦОД, включающая стандартизацию всех объектов этой отрасли: процессов, продукции, услуг. В соответствии с этой программой к настоящему времени разработаны и введены в действие следующие технические стандарты.

ГОСТ Р 58811-2020 «Центры обработки данных. Инженерная инфраструктура. Стадии создания».

Этот стандарт определяет стадии и этапы жизненного цикла создания инженерной инфраструктуры ЦОД (ИИ ЦОД). Каждая стадия разбивается на несколько этапов и для каждого из них определены цели и содержание работ.

Рассматриваемый ГОСТ содержит два приложения.

Приложение А содержит рекомендуемые результаты работ по созданию ИИ ЦОД, определяемые как документы, относящиеся к каждому из этапов. Приложение В определяет участников, задействованных на конкретных этапах создания ИИ ЦОД.

ГОСТ Р 58812-2020 «Центры обработки данных. Инженерная инфраструктура. Операционная модель эксплуатации. Спецификация».

Этот стандарт определяет требования к организации, осуществляющей эксплуатацию инженерных систем ЦОД с целью обеспечения надлежащего качества их функционирования и предоставления потребителям услуг ИИ ЦОД приемлемого качества. Он способствует формированию и принятию единого процессного подхода к организации эксплуатации ИИ ЦОД.

Операционная модель эксплуатации (ОМЭ) определяется в рассматриваемом стандарте как совокупность элементов: процессов, ресурсов и организационной модели. Для каждого элемента ОМЭ приведены требования и классификация составных частей этих элементов.

Наиболее важным элементом ОМЭ являются процессы, которые определяются как регулярно повторяющиеся последовательности взаимосвязанных мероприятий (операций, процедур, действий) по обслуживанию ЦОД. Каждый из процессов описывается в рассматриваемом техническом стандарте по однотипной схеме:

- наименование процесса (пояснения и общая информация);
- цель процесса, описание требований и рекомендаций;
- эффект от реализации (формулировка ожидаемого эффекта).

Всего в ГОСТ Р 58812-2020 приведено описание сорока трех процессов.

Типовой перечень объектов эксплуатации инженерной инфраструктуры центра обработки данных содержится в справочном приложении стандарта.

ГОСТ Р 70139-2022 «Центры обработки данных. Инженерная инфраструктура. Классификация».

Этот технический стандарт определяет обширный перечень показателей, характеризующих инженерную ИИ ЦОД, на основе которых становится возможным введение классов ЦОД.

Применение ГОСТ Р 70139-2022 позволяет: формировать требования к ИИ ЦОД и ее отдельным элементам; использовать представленный структурированный перечень показателей ЦОД, их возможных вариантов и интервалов значений для проведения анализа, сравнения, выбора и сертификации ЦОД.

Классификация ЦОД осуществляется в соответствии с попаданием фактических значений показателей ЦОД в установленные допустимые интервалы.

Стандарт определяет основные типы показателей, характеризующих предоставляемые ЦОД услуги:

а) показатели назначения;

б) показатели надежности;

в) показатели безопасности;

г) дополнительные показатели.

Каждому типу показателей ставится в соответствие несколько групп показателей.

Согласно ГОСТ Р 70139-2022 классификация ЦОД выполняется раздельно для двух категорий пользователей:

органы государственной власти и органы местного самоуправления Российской Федерации;

хозяйствующие субъекты Российской Федерации других организационно-правовых форм (юридические лица, организации, физические лица).

В первом случае ЦОД, предоставляющие услуги государственным информационным системам (ГИС) [9], подразделяются на следующие классы:

- ГИС-1 (ГИС Специальный);
- ГИС-2 (ГИС Высокий);
- ГИС-3 (ГИС Средний);

- ГИС-4 (ГИС Низкий);
- ГИС-5 (ГИС Минимальный).

Во втором случае используются многоцелевые центры (МЦ), которые в отношении инженерной инфраструктуры разделяются на классы:

- МЦ-1 (МЦ Специальный);
- МЦ-2 (МЦ Высокий);
- МЦ-3 (МЦ Средний);
- МЦ-4 (МЦ Низкий);
- МЦ-5 (МЦ Минимальный).

Для каждого из перечисленных классов определен набор соответствующих этому классу характеристик.

Так, например, для ЦОД класса ГИС-1 расчетный коэффициент готовности по критичным системам должен быть не ниже 0,99995, а для ЦОД класса ГИС-5 - не ниже 0,95.

Всего в стандарте приведено более 200 показателей.

ГОСТ Р 70627-2023 «Центры обработки данных. Инженерная инфраструктура. Документация. Техническая концепция. Требования к составу и содержанию».

Разработка технической концепции является важнейшим этапом создания современных ЦОД.

Техническая концепция инженерной инфраструктуры центра обработки данных (ТК ИИ ЦОД) по ГОСТ Р 70627-2023 определяется как документ или комплект документов, в котором содержатся предварительные технические решения и расчет совокупной стоимости владения инженерной инфраструктуры центра обработки данных, приводится обоснование выбора решения для инженерной инфраструктуры центра обработки данных и высокоуровневый план реализации.

Приложения к рассматриваемому стандарту содержат сведения, имеющие важнейшее значение при проектировании ИИ ЦОД: базовый и расширенный наборы показателей проектируемого центра обработки данных; перечень основных и вспомогательных систем инженерной инфраструктуры центра обработки данных.

Российская система сертификации ЦОД

Введение в действие рассмотренных выше технических стандартов свидетельствует об успешном формировании отечественной модели классификации и стандартизации отрасли ЦОД. Для практической реализации этой модели была создана в 2021 году и зарегистрирована Росстандартом система добровольной сертификации ЦОД «РосЦОД», являющаяся по существу бюджетным аналогом системы Uptime Institute.

Объектами добровольной сертификации в Системе РосЦОД являются: продукция; работы и услуги; процессы проектирования, производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации; персонал, участвующий в производстве работ и оказании услуг.

Для определения соответствия при добровольной сертификации в системе РосЦОД могут быть использованы не только документы национальной системы стандартизации, но и межгосударственные, международные стандарты, общероссийские классификаторы, стандарты предприятий, условия договоров, своды правил.

Процедура сравнения ЦОД на основе требований ГОСТ Р 70139-2022

Стандартом определена следующая последовательность действий при классификации центров обработки данных.

1. Выбор отдельного показателя для оценки.
2. Оценка выбранного показателя с использованием рекомендованной или собственной методики.
3. Определение класса отдельного показателя на основании Приложения стандарта.
4. Определение класса ЦОД по данному показателю.
5. Определение сводного класса ЦОД по всем показателям. Например, по минимальному из классов по показателям.

Каждый из показателей ЦОД оценивается по шкале, имеющей пять классов: от А (наивысший класс) до Е (минимальный). В техническом стандарте приведены правила присвоения проверяемому ЦОД определенного класса в категориях ГИС или МЦ.

Очевидно, что при реализации такой последовательности действий может возникнуть такая ситуация, когда к одному классу, в котором заинтересован заказчик, будут отнесены сразу несколько ЦОД.

В этом случае должна быть решена задача выбора лучшей альтернативы из возникшего набора.

Приведем возможный вариант решения этой задачи.

Пусть производится выбор лучшего ЦОД из набора дата-центров, отнесенных в результате проведенной по ГОСТ Р 70139-2022 экспертизы к одно и тому же классу.

Предполагается заданным:

- исходное множество рассматриваемых альтернативных ЦОД мощностью K

$X = \{ x_j \}$, $j = \overline{1,K}$,

- множество измеренных или полученных экспертным путем значений по каждому *i*-му показателю из используемого набора для каждого x_j (всего в наборе *m* показателей)

$W_j = \{ \omega_i(x_j) \}$, $i = \overline{1,m}$,

- диапазон допустимых изменений по каждому *i*-му показателю $d_i = |\omega_{i2} - \omega_{i1}|$, где ω_{i1} - нижний предел диапазона изменения *i*-го показателя, ω_{i2} – верхний (указывается в стандарте).

- коэффициенты важности для набора показателей: β_i – коэффициент важности *i*-го показателя, определяемый в диапазоне ($0 \le \beta_i \le 1$) [3].

Тогда могут быть определены μ_{ij} - нормализованные оценки *i*-го показателя для *j*-го центра обработки данных [4, 5]:

$\mu_{ij} = \frac{\omega_i(x_j) - \omega_{i1}}{d_i}$ - для показателя типа «выигрыш»,

$\mu_{ij} = \frac{\omega_{i2} - \omega_i(x_j)}{d_i}$ - для показателей типа «проигрыш».

Далее следует вычисление с использованием процедуры свертки значений $\bar{\mu}_j$ - осредненных по множеству показателей нормализованных оценок для каждого ЦОД:

$$\bar{\mu}_j = \sum_{i=1}^{m} \beta_i \mu_{ij}$$

Наиболее предпочтительным признается центр обработки данных, которому соответствует наибольшее значение осредненной нормализованной оценки:

$$x^*: \bar{\mu}(x^*) = \max_{j = \overline{1,K}} \bar{\mu}_j$$

Если в стандарте для некоторого *i*-го показателя указывается не допустимый диапазон, а его точное значение и *j*-й ЦОД при этом такому значению соответствует, то рассматриваемая процедура упрощается т.к. значение μ_{ij} становится равным единице.

Рассмотрим следующий пример.

Обследуются два центра обработки данных x_1 и x_2 , отнесенных к одному и тому же классу В по результатам экспертизы, проводимой в соответствии с ГОСТ Р 70139-2022 по установленному общему набору показателей.

Выберем для проведения процедуры три показателя, для которых в ГОСТ Р 70139-2022 указаны допустимые диапазоны изменения в каждом из используемых классов A, B, C, D, E (*табл. 1, 2, 3*).

Таблица 1 - Показатель П1: Общая доступная мощность электроснабжения (мегаватты)

Класс A	Класс B	Класс C	Класс D	Класс E
Более 20	От 10 до 20	От 3 до 10	От 0,25 до 3	Менее 0,25

Таблица 2 - Показатель П2: Общее количество серверных монтажных шкафов (шт.)

Класс A	Класс B	Класс C	Класс D	Класс E
Более 3000	От 801 до 3000	От 201 до 800	От 11 до 200	Не более 10

Таблица 3 - Показатель П3: Транспортная доступность и время прибытия экстренных служб

Класс A	Класс B	Класс C	Класс D	Класс E
Не более 10 мин	Не более 20 мин	Не более 40 мин	Данные отсутствуют или не нормируются	Данные отсутствуют или не нормируются

Зададимся значениями коэффициентов важности этих показателей:

$\beta_1 = 0{,}5;$ $\beta_2 = 0{,}3;$ $\beta_3 = 0{,}2$.

Пусть центры обработки данных x_1 и x_2 имеют следующие значения показателей П1, П2, П3:

$\omega_1(x_1) = 15;$ $\omega_2(x_1) = 1800;$ $\omega_3(x_1) = 15;$

$\omega_1(x_2) = 13;$ $\omega_2(x_2) = 2500;$ $\omega_3(x_2) = 12.$

Показатели П1, П2 относятся к типу «выигрыш», П3 – «проигрыш».

Воспользуемся приведенными выше формульными зависимостями и получим результаты:

$\bar{\mu}_1 = 0{,}485$; $\bar{\mu}_2 = 0{,}561$.

Следует сделать вывод о том, что более предпочтительным является второй центр обработки данных.

Заключение

Изложенный материал позволяет получить общее представление о направлениях развития отечественной системы сертификации ЦОД, систематизировать основные положения и требования, содержащиеся во вводимых в действие национальных технических стандартах.

Разработанная и представленная процедура сравнения ЦОД является существенным дополнением алгоритма классификации центров обработки данных, содержащегося в стандарте ГОСТ Р 70139. Проведенный анализ российских национальных технических стандартов, определяющих вопросы разработки и функционирования ЦОД, а также перспектив использования системы добровольной сертификации центров обработки информации «РосЦОД», позволяет сделать вывод о возможности постепенного устранения из отечественной практики международных и иностранных систем сертификации ЦОД и переходе на отечественные системы.

Литература

1. Ващекин А.Н. Проблемы правового регулирования отношений в цифровом пространстве. // Правосудие. 2020. Том 2. №2. С.126-147.
2. Ефименко А.А., Федосеев С.В. Организация инфраструктуры облачных вычислений на основе SDN сети // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2013. №5. С. 185-187.
3. Зак Ю.А. Принятие многокритериальных решений. – М.: Экономика, 2011. – 236 с.
4. Козлов В.Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений. – М.: Проспект, 2013. – 176 с.
5. Литвак Б.Г. Управленческие решения. – М.: Московская финансово-промышленная академия, 2012. – 512 с
6. Ловцов Д.А. Проблема гарантированного обеспечения информационной безопасности крупномасштабных автоматизированных систем // Правовая информатика. 2017. № 3. С. 66—74.
7. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем: монография. М.: Росс. гос. ун-т правосудия, 2021. 250 с.
8. Ловцов Д.А. Принципы обеспечения защищенности информации в эргасистемах // Правовая информатика. 2021. № 1. С. 36—50.
9. Черных А.М. Основные направления интеграции федеральных государственных информационных систем и пространственных данных // Правовая информатика. 2018. № 2. С. 47—56. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-2-47-56.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПОДХОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ МЕРА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Барков С.С.*, Овчинников С. А.**, Серпуховитин Д. А.***
*РТУ МИРЭА (Москва), **Научно-технический центр «ИСО Эксперт» (Москва), ***ИГСУ РАНХиГС (Москва)

Аннотация. Идея настоящего исследования появилась в ходе анализа авторами собственного и стороннего опыта в сфере создания и развития систем менеджмента качества (СМК), систем процессного управления (СПУ), прежде всего, инновационных предприятиях. Анализ накопленного практического опыта современной России, а также научных и прикладных достижений в сфере организационного менеджмента указывает на целесообразность формализации подходов (правил) моделирования (описания) бизнес-процессов и «базового» функционала СПУ на уровне национальных стандартов и рекомендаций. Исследование проводилось на основе данных, полученных из потребностей (вакансий) и предложений (резюме) рынка, анализа отраслевого опыта (профессиональные конференции), а также результатов развития национальной и международной стандартизации (действующие российские и зарубежные стандарты).

Ключевые слова: государственная поддержка, управление процессами, стандартизация, управление качеством, оптимизация процессов, сокращение издержек, моделирование процессов, цифровизация.

Standardization of process modeling approaches as a perspective measure of the government support for innovative enterprises. Barkov S.S.*, Ovchinnikov S.A.**, Serpukhovitin D.A.***, *RTU MIREA (Moscow), **Research and Development Center “ISO Expert” (Moscow), ***IGSU RANEPA (Moscow)

Abstract. The idea for this research emerged during the analysis of the authors' own and third-party experience in the field of creating and developing quality management systems (QMS), process management systems (PMS), primarily in innovative enterprises. The analysis of accumulated practical experience in modern Russia, as well as scientific and applied achievements in the field of organizational management, indicates the expediency of formalizing approaches (rules) for modeling (describing) business processes and "basic" functionality of PMS at the level of national standards and recommendations. The study was based on data obtained from the needs (job vacancies) and offers (resumes) of the market, analysis of industry experience (professional conferences), as well as the results of national and international standardization development (current Russian and foreign standards).

Keywords: government support, process management, standardization, quality management, process optimization, cost reduction, process modeling, digitalization.

Введение

Современный рынок, его тенденции и процессы характеризуются высокой интенсивностью, требующей от руководства организаций быстрого реагирования на изменения внешней среды, рыночной конъюнктуры, запросов потребителей и т. д. Так же государственные учреждения, в соответствии с запросами общества, вынуждены расширять предоставляемые ими электронные услуги и сервисы. Несмотря на фундаментальные различия коммерческих и государственных и организаций, сокращение издержек как основных[1)], так и вспомогательных процессов становится критически важным в условиях нарастания санкционного давления и, как следствие, возникает необходимость переориентации на новые рынки для первых и экономии бюджетных средств для вторых. Одним из эффективных организационных инструментов для сокращения издержек является внедрение принципов и подходов процессного управления, а также автоматизация процессов. Однако для реализации данного инструмента требуется не только доступ к современным цифровым технологиям, но и наличие профессиональных компетенций сотрудников и руководителей.

На фоне введения внешнеполитических ограничений, мер экономического давления, а также в связи с особенностями внутренних демографических процессов Российской Федерации, потребность в высококвалифицированных кадрах будет не только сохраняться, но и нарастать [1]. С учетом вышеназванных факторов дополнительным аспектом настоящего исследования является оценка потенциальной возможности привлечения сотрудников на позиции «бизнес-аналитика» из дружественных стран постсоветского пространства: Казахстан, Беларусь, Узбекистан, Кыргызстан, Грузия, Азербайджан.

Содержание проведенного исследования

Подход к построению СПУ организации основан на анализе деятельности, моделировании (проектирование, описание) и последующем совершенствовании процессов. При этом, одновременно может создаваться единая процессная модель деятельности организации и решаться локальные задачи оптимизации отдельных процессов. Для наиболее эффективной реализации подобных задач применяют специализированные средства моделирования – интеллектуальные платформы, обычно предлагающие широкий набор правил описания процессов – нотаций моделирования.

Исторически процессный подход в Российской Федерации стал следствием эволюционного развития СМК и показал свою высокую эффективность и популярность. Несмотря на это, до настоящего момента в системе национальной стандартизации недостаточно формализованы нотации моделирования процессов и «фреймворки», то есть структурированные рекомендации для специфических областей моделирования – парадигмы моделирования. В следствии чего, государственные и частные организации вынуждены самостоятельно проводить исследования, подбирая и разрабатывая, с помощью доступных на рынке специалистов с соответствующими компетенциями, собственные нотации и парадигмы моделирования. С одной стороны, отсутствие стандартов моделирования обеспечивает гибкость в моделировании процессов, но с другой стороны, приводит к росту затрат как на стадии внедрения СПУ, так и при её эксплуатации.

Необходимо отметить, что переход от одной нотации (или её изменении) к другой, без последовательной стратегии изменений правил моделирования нарушает принципы прослеживаемости, прозрачности и связности бизнес-процессов в СМК, а также препятствует распространению «лучших практик», полученных при описании и анализе процессов.

В результате анализа материалов периодических специализированных конференций[2)], проводимых активными участниками рынка услуг и производства интеллектуальных платформ в сфере бизнес-моделирования и анализа, формируются перечни наиболее популярных нотаций моделирования и

[1)] Под «основными процессами» авторы понимают процессы, создающие продукт для конечного потребителя.

[2)] ELMA DAY (www.elma-bpm.ru); ЦИФРА-М (http://smartexecutive.ru/workshops); Проектирование бизнес-архитектур (https://www.businessstudio.ru/community/conferences)

соответствующего программного обеспечения (ПО). Дополнительно, по материалам конференций был предложен образ этапа проекта по внедрению СПУ – выбор и разработка правил моделирования и специализированного ПО. Характеристики образа приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики этапа выбора и разработки правил моделирования проекта внедрения СПУ

Характеристика	**Значение**
Длительность периода разработки правил моделирования, мес.	от 2 до 3
Размер команды проекта, чел.	от 2 до 3
Оценка затрат на разработку правил моделирования и развитие ИТ-инфраструктуры, тыс. руб.	от 400 до 700 (900)

Характеристики образа этап проекта, приведённые в таблице 1, согласуются с собственными наблюдениям авторов, однако стоить отметить, следующее:

1) Длительность этапа зависит от размеров, структуры и накопленного опыта в сфере управления процессами. Так, например, крупным горизонтально-интегрированным компаниям (например, системообразующие финансовые организации) может потребоваться более шести месяцев на разработку собственных правил моделирования, поскольку большое количество разработанных документов может влиять как на сам процесс разработки, так и на согласование новых правил моделирования. С другой стороны, небольшие компании (средний бизнес), как правило, могут обходиться сроком до двух месяцев, поскольку у них отсутствует какой-либо опыт в рассматриваемой сфере, а одним из главных критериев успешности проекта является получение результатов (управленческих, финансовых) в максимально короткий срок.

2) Количество сотрудников организации, задействованных в проекте, также сильно зависит от размеров компании. Можно отметить, что компании среднего размера, как правило, на старте проекта предпочитают иметь в команде одного сотрудника, разрабатывающего методологию моделирования процессов.

3) Приведённая оценка затрат является достаточно приблизительной, поскольку включает только оценку заработной платы, затрат на рабочее место, затрат на обучение сотрудников и развитие ИТ-инфраструктуры (приобретение средств моделирования процессов и их внедрение). Затраты с возможной доработкой ИТ-инфраструктуры приведены в скобках.

Приведённые в таблице 1 данные не учитывают полномасштабное внедрение СПУ с привлечением внешних консультантов, поскольку отсутствует достаточный объём достоверных данных. Тем не менее, по нашему мнению, учет стоимости работы консультантов только увеличит затраты на проект.

Авторы, понимая крайне оценочный характер указанных выше данных, все же считают необходимым их приведение, поскольку в масштабе проекта внедрения СПУ суммарные затраты могут быть достаточно велики.

Среди наиболее распространенных нотаций (языков) моделирования СПУ организации (Enterprise Modelling Languages, EMLs), многие из которых являются мировыми стандартами, можно выделить[3]):

- Structured Analysis and Design Technique (SADT);
- Integration Definition for Function Modeling (IDEF0);
- Business Process Model and Notation (BPMN 2.0);
- Case Management Model and Notation (CMMN);
- Basic Flowchart (BFC) и Cross-functional Flowchart (CFF);
- Event-Driven Process Chain (EPC).

Приведённые выше списки являются далеко не полными, но, по нашему мнению, охватывают большинство популярных нотаций моделирования.

Принципы стандартизации, применяемые в качестве основы для сокращения издержек производственных предприятий, были заложены и развивались ещё во времена СССР. Не смотря на изменившиеся геополитические условия, они не только не потеряли свою актуальность, но приобретают особое значение в свете ожидаемой потребности в кадрах для бизнес-моделирования и анализа организаций. По нашему мнению, дополнительным аргументом для стандартизации той или иной нотации может быть распространённость (наличие специалистов с соответствующими компетенциями) в дружественных РФ странах.

Определение распространённости нотаций моделирования целесообразно определять по двум направлениям: по количеству «запросов рынка», то есть организаций - вакансий и по количеству «предложений» - резюме соискателей, в которых декларируется владение той или иной нотацией.

[3]) Результаты анализа с применимости специализированных видов функциональных диаграмм (например, Value-added Chain Diagram, Function Allocation Diagram и т. д.), нотации моделирования системных архитектур, программных приложений и объектов информационной инфраструктуры и структур потоков данных в настоящей публикации не приводятся.

Отбор вакансий и резюме[4)] производился на сайте HeadHunter по следующим ключевым словам:
- «бизнес-аналитик»;
- «аналитик бизнес-процессов»;
- «бизнес-архитектор»;
- «системный аналитик»;
- «специалист по процессному управлению»;
- «методолог по процессному управлению».

Поиск ключевых слов производился как в названии, так и в описании (теле) вакансии или резюме (в описании мест работы соискателя). Необходимо отметить, что поиск производился только среди размещённых (находящиеся в архиве не учитывались) вакансий и резюме.

Общая характеристика набора данных приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Общая характеристика набора данных

Выборка	**Количество**	**Период**	**География отбора**
Вакансии	11799	февраль – март 2023	Российская Федерация, Белорусия, Казахстан, Азербайджан, Грузия, Кыргызстан, Узбекистан
Резюме	14799		

Разница количества резюме и вакансий в общей выборке составляет 3000 ед. или 11,3%, общее количество объектов исследования 26598 ед.

Распределение вакансий и резюме по регионам поиска приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение стран в выборках

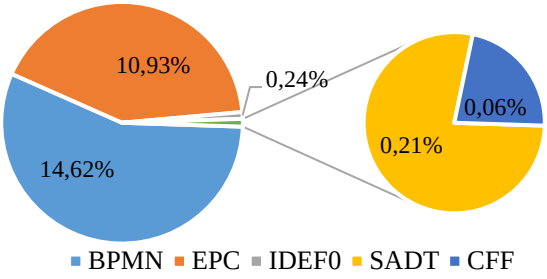
Регион поиска	**% в выборке**	
	«резюме»	**«вакансии»**
Российская Федерация	83,02%	89,45%
Казахстан	9,73%	4,52%
Беларусь	5,17%	2,46%
Узбекистан	0,78%	2,18%
Грузия	0,65%	0,62%
Кыргызстан	0,46%	0,71%
Азербайджан	0,19%	0,07%

Из таблицы 3 видно, что для обоих выборок сохраняются, приблизительно равные пропорции спроса (выборка «вакансии») и предложения (выборка «резюме»). Можно отметить, что Российская Федерация является лидером по количеству как вакансий, так и резюме среди рассматриваемых стран, однако, выборки могут быть расширены с учетом вакансий и резюме на национальных языках.

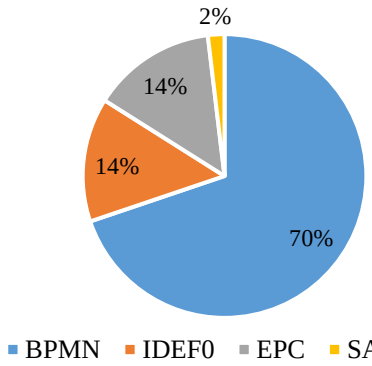
После формирования выборок в каждой из них был проведён поиск по ключевым словам – сокращённым наименованием нотаций, приведённым выше. Обозначение нотации должно было, как минимум, один раз упоминаться в описании вакансии или навыках – для выборки «вакансии» и также для выборки» резюме. Для исключения дублирования учитывалось только первое вхождение обозначения нотации. Результаты поиска в выборках «вакансии» и «резюме» приведены на рисунках 1 и 2, соответственно.

Из диаграмм на рисунке 3 видно, что наиболее востребованными у работодателей нотациями моделирования процессной архитектуры, применяемыми в Российской Федерации, Республике Беларусь и Республике Казахстан, являются BPMN 2.0, EPC и IDEF0. Стоит отметить, что востребованность нотаций EPC и IDEF0 в Республике Беларусь и Республике Казахстан примерно одинаковая, а в Российской Федерации нотация IDEF0 практически не вызывает интереса у работодателей. По нашему мнению, такое распределение может быть связано с более интенсивным развитием практики бизнес-анализа и соответствующим проникновением современных инструментов моделирования бизнес-процессов в Российской Федерации и ориентацией на сохранение традиционной практики менеджмента качества на крупных предприятиях Республики Беларусь и Казахстан.

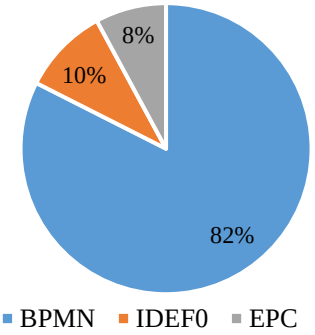
[4)] Резюме собирались без персональных данных и кластерных признаков.



а)



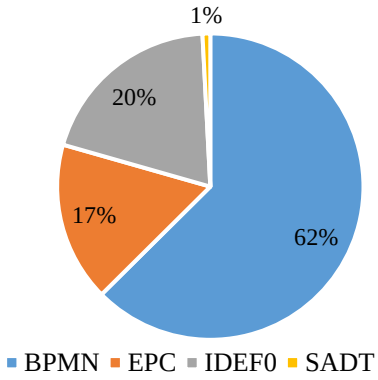
б)



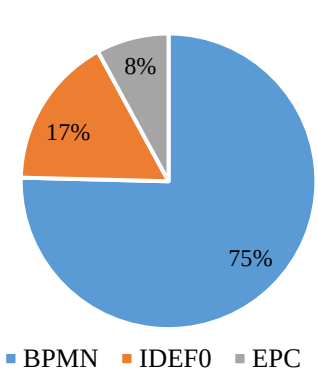
в)

а) Российская Федерация; б) Беларусь; в) Казахстан.

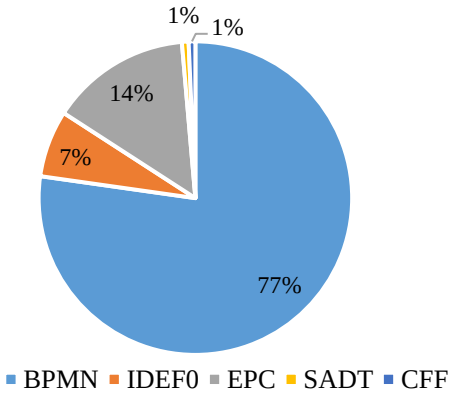
Рисунок 1 – Распределение компетенций нотаций моделирования в выборке «вакансии»



а)



б)



в)

а) Российская Федерация; б) Беларусь; в) Казахстан.

Рисунок 2 - Распределение компетенций нотаций моделирования в выборке «резюме»

Анализируя распределение заявленных навыков владения нотациями в резюме соискателей, можно сделать вывод о пропорционально равной популярности нотаций моделирования бизнес-процессов во всех рассматриваемых странах и выстроить следующий приоритетный ряд (от наиболее популярной к менее популярной нотации): **BPMN2.0**, **IDEF0**, **EPC**.

Сопоставление выборок позволяет сказать о маловостребованности нотации IDEF0 у работодателей в дальнейшем по причине замещения данной нотации более современными, функциональными и, как следствие, более востребованными нотациями: **BPMN2.0** и **EPC**.

Результаты исследования

Нотации BPMN и EPC являются наиболее востребованными на рынках большинства рассматриваемых стран (для стран СНГ также можно выделить нотацию IDEF0). Утверждение данных нотаций в форме национальных стандартов (с условием адаптации к сложившейся практике) поможет существенно сократить издержки организаций, а также облегчить привлечение специалистов по бизнес-анализу из рассматриваемых стран. Дополнительно, стандартизация нотаций BPMN2.0, EPC и IDEF0 будет способствовать созданию национальных парадигм моделирования бизнес-процессов.

Литература

1. Юмагузин В. В., Винник М. В. Долгосрочный прогноз компенсаторной миграции в России // Журнал Новой экономической ассоциации. № 1 (58). С. 48–64, 2023. DOI: 10.31737/22212264_2023_1_48.
2. Head Hunter, [В Интернете]. Available: https://hh.ru. [Дата обращения: февраль - март 2023].

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ, АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УЧЕБНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «АВРОРА» ДЛЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ЯЗЫКЕ C++

Данилович Е.С., Кривошея М.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 описанию опыта эксплуатации учебно-технологической автоматизированной системы «Аврора» (УТАС «Аврора») для организации и управления учебного процесса при преподавании дисциплины Объектно-ориентированного программирования на алгоритмическом языке C++. Приведены постановки проблемных задач современного образовательного процесса. Описываются принципы построения, архитектура и основные компоненты УТАС. Показан технологический характер построенной системы. Обосновывается достаточность функционала для сбора оперативной, полной, достоверной, структурированной информации для принятия на их основе корректных управленческих решении для качественной организации и управления учебного процесса. Приведены основные результаты, полученные после шестилетней эксплуатации УТАС.

Ключевые слова: автоматизированные системы обучения; учебно-технологическая система; система управления учебным процессом; программные инструменты; качество образования; повышение производительности.

Automated control system for teaching the discipline of object-oriented programming in the algorithmic language C++. Danilovich E.S., Krivosheya M.S., Puturidze Z.Sh. 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 description of the experience of operation of the educational and technological automated system "Aurora" (AETS "Aurora") for the organization and management of the educational process when teaching the discipline of Object-oriented programming in the algorithmic language C++. The statements of problematic tasks of the modern educational process are given. The principles of construction, architecture and main components of AETS are described. The technological nature of the constructed system is shown. The article substantiates the sufficiency of the functionality for collecting operational, complete, reliable, structured information for making correct management decisions based on them for the qualitative organization and management of the educational process. The main results obtained after six years of operation of AETS are presented.

Keywords: automated learning system; educational and technological system; educational process management system; software tools; quality of education; productivity improvement.

Введение

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) охватили все сферы человеческой деятельности. Они широко используются и в образовательной сфере. Они предназначены для улучшения качества управления образовательной организацией и улучшения качества образования. Безусловно они играют заметную положительную роль в современной системе образования, но вместе с тем породили и ряд проблем, которые требуют решения. Отметим некоторые из них.

Первая проблема копирования. Современные средства ИКТ позволяют существенно упростить процесс заимствования большого массива информации и посредством минимального редактирования содержимого или порой без него, выдавать как собственный учебный продукт. Эта возможность снижает ответственность студентов, их образовательный уровень. Преподавателю приходиться тратить много времени на выявление заимствования или просто игнорировать этот факт. Становится не понятным, что оценивается, какие реальные способности и знания студента. Встает очевидная задача, максимально исключить возможности заимствования, стимулировать студента на самостоятельную работу.

Вторая проблема унификация требований и оценки. Есть множество базовых предметов, особенно на первых курсах, которые преподаются всему потоку. Как обычно в процессе преподавания таких дисциплин задействовано множество преподавателей. Повышение нагрузки преподавателей ВУЗа, за последние десятилетия, не способствует объективности оценок. Тут надо учесть еще большой объем копирования. Исходя из этого можно сформулировать несколько задач. Первая, повышение производительности труда преподавателя. Вторая, создание такой методики организации учебного процесса, инструментальных средств, множества требований к учебному продукту, чтобы гарантировать выполнение студентом определенного необходимого минимума. Третья, внедрить систему оценки деятельности студента, оценки качества его учебного продукта, соответствующие инструментальные средства, которые гарантируют определенный уровень унификации.

Третья проблема возникает при принятии решений для управления учебным процессом. Необходимая оперативная информация отсутствует, запаздывает по времени, не является полной, не всегда структурирована должным образом. Зачастую происходит сознательное или непреднамеренное искажение участниками учебного процесса определенных данных необходимых для выработки управленческого решения. Это снижает качество принимаемых решений, особенно их своевременность. Можно сформулировать задачу оперативного, полного, достоверного и структурированного сбора данных об учебном процессе.

Для преодоления или частичного решения отмеченных проблем почти во всех ВУЗ-ах внедряются готовые или разрабатываются собственные автоматизированные системы обучения. Необходимость разработать собственную автоматизированную систему вынуждает ограниченный функционал готовых систем, высокая стоимость или практическая невозможность их доработки с учетом особенности учебного процесса ВУЗ-а. Решение разработать собственную автоматизированную систему обучения шесть лет назад было принято на кафедре Вычислительной техники института Информационных технологий МИРЭА. Была разработана, внедрена методология и учебно-технологическая автоматизированная система «Аврора» (УТАС «Аврора»), которая используется для преподавания объектно-ориентированного программирования на алгоритмическом языке С++. В статье рассказывается об опыте шести лет эксплуатации, анализа результатов и развития как методологии так и учебно-технологической автоматизированной системы обучения.

Правила, требования и архитектура учебно-технологической автоматизированной системе обучения

В ВУЗ-е базовым, основным является учебный процесс. Деятельность в рамках учебного процесса имеет непрерывный, многофакторный, большой долей субъективный характер. Была выдвинута гипотеза, построение автоматизированной системы обучения (АСО) начать с базовых практических занятий. Было принято решение построить качественную реализацию относительно одной дисциплины, выработать общие правила и далее масштабировать на другие дисциплины. В качестве исходной была выбрана дисциплина объектно-ориентированного программирования (ООП) на алгоритмическом языке С++.

При разработке АСО в качестве основного было использовано правило - автоматизировать можно существующий процесс. Было зафиксировано требование, органично (комфортно для участников) встроить автоматизированную систему в учебно-организационный процесс преподавания ООП. Схематично деятельность преподавания дисциплины ООП отображена в таблице 1.

Таблица 1 - Схема преподавания дисциплины ООП

Подготовка методических и учебных материалов	Организация учебного процесса

1. Рабочая программа и конспект лекций. 2. Задания, классифицированные по назначению (упражнения, лабораторные, контрольные, самостоятельные, курсовые). 3. Правила оценки. 4. Формы отчетности. 5. Фиксация стандарта алгоритмического языка. 6. Используемые стандарты для описания алгоритмов и рисования блок-схем.	1. Проведение занятий: лекционных, практических, лабораторных. 2. Пояснения и демонстрация решения задач. 3. Распределение заданий по студентам. 4. Выполнение заданий студентами. 5. Подготовка отчетных материалов. 6. Контроль и оценка выполненных заданий. 7. Прием зачетов. 8. Защита курсовых работ. 9. Проведение экзаменов
Библиотека учебных и методических материалов Организационные документы Архив отчетных материалов	

Архитектура УТАС «Аврора» построена в соответствии с приведенной в таблице 1 схемой. Составные части системы — это множество функциональных автоматизированных рабочих мест (АРМ), инструментов и специализированных серверов.

Таблица 2 - Схема функционала УТАС «Аврора»

Подготовка методических и учебных материалов	Организация учебного процесса
АРМ методиста	АРМ администратора АРМ преподавателя АРМ куратора (аналитика) АРМ лектора АРМ комиссии (защита курсовых работ) АРМ студента Множество тренажеров.
Множество специализированных серверов (регистрация участников учебного процесса, организация занятий, проверка заданий на отладочных и контрольных тестах, генератор схем, генератор отчетов, аналитика, определение заимствования и т.д.) База данных	

Функциональные АРМ автоматизируют деятельность сотрудников кафедры и студентов, организуют их взаимодействие и проведение занятий. Посредством специализированных серверов выполняются все формализованные процедуры организации учебного процесса и ведется общая база данных учебных, практических и отчетных материалов. В базе данных системой накапливается множество дополнительной вспомогательной оперативной информации для проведения качественного анализа всего учебного процесса и предоставления информации администраторам, преподавателям и студентам для принятия качественного управленческого решения.

Принять качественное управленческое решение без полной, достоверной, оперативной и структурированной информации невозможно. УТАС спроектирована и разработана таким образом, что отсутствуют параллельные, вне системы, действия со стороны участников для проведения занятия и решения задачи. Другими словами, все необходимые данные находятся внутри системы. Такое построение обеспечивает наличие полной, достоверной, оперативной и структурированной информации. Это необходимое условие и первый этап для принятия качественного управленческого решения.

Базовым процессом на практических занятиях является процесс решения задачи студентом.

Реализация процесса решения задачи построена и организована в виде технологической линии для производства образовательного продукта. Согласно ГОСТ ЕСПД и методическим документам, решение задачи по ООП выполняется по этапам, с соблюдением их последовательности следования. Перечислим их: описание метода решения; описание алгоритма; описание блок-схемы; код программы; тестирование; составление отчета. 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 алгоритма взаимно однозначно генерируется блок-схема алгоритма. Схема построенной технологической линий приведена на Рис. 2.



Рисунок 1 - Процесс решения задачи по ООП

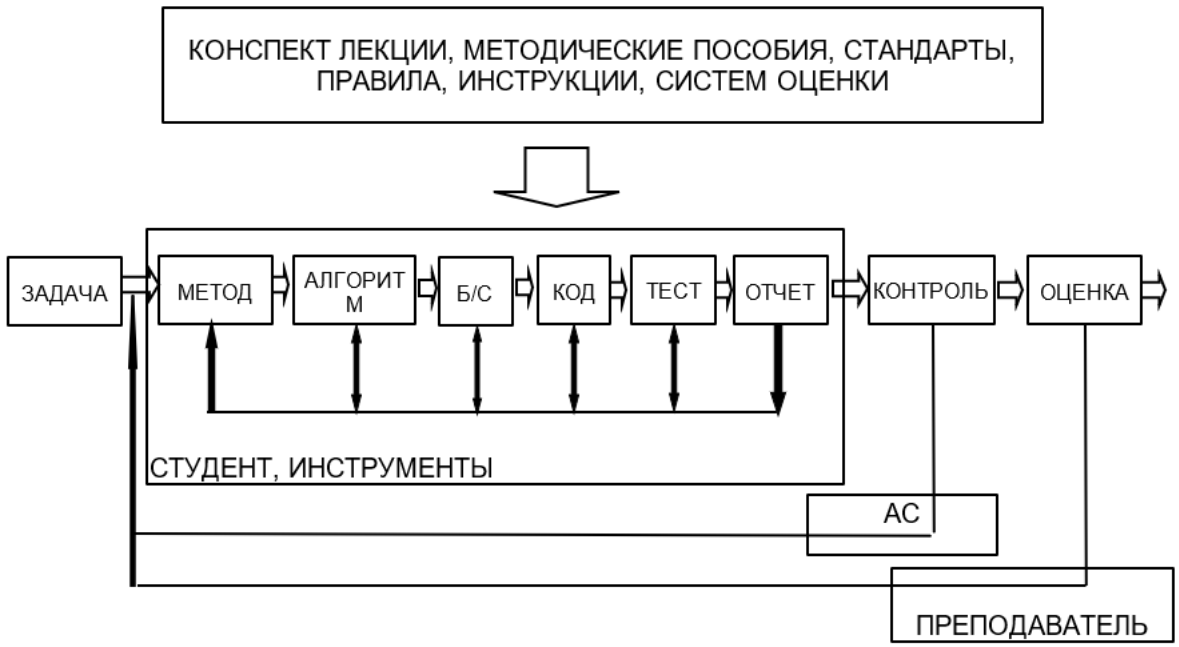


Рисунок 2 - Технологическая линия решения задачи по ООП

Достигнутые результаты

АУТС «Аврора» внедрена в Институте информационных технологий РТУ МИРЭА и уже шестой учебный год находится в эксплуатации. Реализованы дисциплины курсов: «Процедурное программирование на алгоритмическом языке С»; «Объектно-ориентированное программирование на алгоритмическом языке С++»; «Архитектура вычислительных машин и систем».

Обучение прошли порядка 8000 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 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.

Обеспечена качественная и надежная автоматическая предварительная проверка всех заданий студентов на контрольных тестах, что повысило качество выполняемых работ.

Улучшились показатели посещаемости, чему в большой степени способствовало исключение (автоматизация) рутинных операции, эффективное общение с преподавателем.

Систематизированы отчетные материалы на электронном носителе.

Организована и обеспечено выполнение необходимого объема заданий студентами-должниками.

Отчетные документы студентов представлены в полном объеме и по форме соответствуют требованиям нормативов.

Выводы

Значительное повышение производительности труда (преподавателя, студента) и качества образования может быть достигнуто посредством специализированных автоматизированных систем обучения.

Проектирование и реализацию УТАС необходимо начать с основного учебного процесса образовательного учреждения. УТАС должна носить комплексный характер, охватывая всех участников учебного процесса, и учитывать особенности преподавания различных дисциплин. Это позволяет легко внедрять систему в учебный процесс и естественно адаптировать к ее использованию всех задействованных участников. Такой подход позволяет оперативно, объективно, достоверно собрать фактическую информацию относительно учебного процесса. Опираясь на эту информацию, можно проводить точный анализ состояния дел и принимать оптимальные качественные решения для управления учебным процессом.

Реализованная в УТАС «Аврора» архитектура и заложенные принципы построения программных инструментов позволяют легко расширить функционал и увеличить перечень охватываемых дисциплин. В процессе эксплуатации была подтверждена правильность методики построения системы, ее целостной, комплексной архитектуры, а также последовательности этапов ее разработки и внедрения.

Литература

1. МИРЭА - Российский технологический университет. Дистанционное обучение РТУ МИРЭА [Электронный ресурс] // URL: https://www.online-edu.mirea.ru/
2. Системы управления обучением (LMS) [Электронный ресурс] // URL: https://soware.ru/categories/learning-management-systems. (дата обращения: 05.09.2017 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 С++. 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.

ГЛАВА 2. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ, ПОИСКОВЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

*Адамова А.А. , **Темиров А.Т.
*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, **ФГБОУ ВО «ДГТУ», Махачкала, Россия
* arinaadamova75@gmail.com, aadamova@bmstu.ru, ** alibulat.temirov@bk.ru

Аннотация: Статья посвящена обеспечению информационной безопасности кибер-физических систем, являющихся одним из сложных и в тоже время актуальных направлений. Кибер-физические системы являются более сложными, так как они объединяют в себе решения, как на цифровом, так и на физическом уровнях. Большая часть угроз связана с кибер-атаками, что делает безопасность кибер-физических систем более требовательной и сложной.

Ключевые слова: информационная безопасность, кибер-физическая система, технические средства, ИТ технология, цифровая система, кибербезопасность.

Problems of informatization and information security of digital productions. *Adamova A.A., ** Temirov A.T., *Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, **DSTU, Makhachkala, Russia

Abstract: The article is devoted to ensuring the information security of cyber-physical systems, which are one of the most complex and at the same time relevant areas. Cyber-physical systems are more complex because they combine solutions at both the digital and physical levels. Most of the threats are related to cyber attacks, which makes the security of cyber-physical systems more demanding and complex.

Keywords: information security, cyber-physical system, technical means, IT technology, digital system, cybersecurity.

Введение

Современное производство основывается на теории сквозной цифровизации, которая направлена на улучшение надежности, безопасности и общего качества продуктов и производственных систем. Киберфизические системы и цифровые сервисы используются для контроля жизненного цикла продукта и прогнозирования на ранних стадиях. Однако безопасность компонентов киберфизических производственных систем становится главным вопросом в настоящее время [1,2]. При помощи концепции "Индустрия 4.0" и "Бережливого производства" стало возможным глобально сократить издержки и повысить эффективность производственных систем. Информационная безопасность защищает информацию и информационные системы от несанкционированного доступа, утечки, вмешательства или повреждения.

Одним из актуальных направлений обеспечения информационной безопасности является защита кибер-физических систем. Они имеют реальные физические компоненты, которые могут быть подвержены атакам и стать предметом нарушения безопасности. Это, в свою очередь, означает, что угрозы, которые могут возникнуть в таких системах, являются более разнообразными и серьезными. Например, нарушитель может осуществить удаленное управление роботом, предназначенном для выполнения определенных задач, и использовать это во вред производству. Комплекс мер и технических средств, применяемых в обеспечении информационной безопасности кибер-физических систем, отличается от тех, что применяются для традиционных информационных технологий.

Постановка проблемы

Кибер-физические системы являются более сложными, так как они объединяют в себе решения как на цифровом, так и на физическом уровнях. Подходы к определению и оценке угроз для кибер-физических систем имеют свои особенности, поскольку многие угрозы исходят из киберпространства, и только потом оказываются на уровне физического пространства. Эта особенность дает возможность высокомасштабной атаке на кибер-физические системы. Большая часть угроз в данном случае связана с кибер-атаками, что делает безопасность кибер-физических систем более требовательной и сложной.

При наличии большого уровня взаимодействия, интероперабельности и интегрированности элементов цифровой системы, число потенциальных угроз нарастает, а вероятность их реализации увеличивается. Взаимосвязь кибер-физических систем и их интеграция - обязательные и неотъемлемые свойства, которые могут увеличить скорость и объем распространения угроз, а также потенциальный ущерб от их реализации. В таких ситуациях необходим иной подход для оценки и купирования рисков.

В области информационной безопасности, применительно к ИТ технологиям, реактивные

механизмы защиты являются распространенными и достаточно эффективными. Однако, в случае более сложного взаимодействия цифровых технологий и кибер-физических систем, реактивные механизмы становятся менее эффективными и требуютподдержки проактивных механизмов защиты. Необходимость в проактивных механизмах защиты обусловлена общей тематикой ИТ, которая находится в постоянном развитии, а также увеличением числа потенциальных угроз и их уровня сложности. В связи с этим более широко используются комплексные механизмы информационной безопасности, включающие в себя как проактивные, так и реактивные меры защиты.

Угрозы из киберпространства могут переходить на уровень физического пространства. Это означает, что задача обеспечения безопасности кибер-физических систем транслируется на физический уровень. Она включает в себя не только защиту цифровых систем, но и физических систем.

При обеспечении безопасности кибер-физических систем необходимо учитывать, что взаимодействие происходит не только с цифровыми, но и с физическими системами, которые глубоко связаныдругс другом. Их конвергентность может привести к кратному росту возможных угроз, включая как традиционные угрозы для кибер пространства, так и угрозы, которые могут нанести ущерб на физическом, уровне обработки данных, на уровне взаимодействия машин и процессов, на уровне взаимодействия с пользователем, интерпретации работы новых интерфейсов и т.д. Поэтому обеспечение безопасности кибер-физических систем требует учета всех уровней и факторов и комплексного подхода.

Следует уделять большее внимание обучению и повышению осведомленности по вопросам кибербезопасности, особенно среди технических специалистов и руководителей организаций. Это позволит им лучше понимать риски и принимать эффективные меры защиты от угроз. Необходимо развивать новые методы и технологии, которые могут помочь в борьбе с кибер-угрозами в кибер-физических системах. Это может включать в себя разработку более интеллектуальных систем мониторинга и обнаружения угроз, а также развитие новых методов защиты, таких как блокчейн и искусственный интеллект.

Организация ТК 194 была создана для разработки стандартов и нормативно-технического регулирования в нескольких сферах, таких как Интернет вещей, Большие данные, Умные города, Умное производство, Искусственный интеллект и Умная энергетика. Каждая технологическая область может иметь свои специфические риски и угрозы, связанные с техническими особенностями и применением технологий в конкретных сферах.

ТК 194 занимается несколькими технологическими направлениями, объединенными глубокой конвергентностью. Например, нельзя говорить о «Больших данных», исключив взаимодействие с устройствами M2M в «Интернете вещей». Все эти вещи тесно связаны и взаимодействуют друг с другом. Поэтому подходы к информационной безопасности в области цифровых технологий и кибер-физических систем должны быть сложными и комплексными.

На практике требуется соответствовать множеству требований, включая функциональную надежность, доверенность и безопасность. Однако, необходимо также сохранять потребительские свойства каждого элемента системы и системы в целом. Важно понимать, что победа любой ценой не является целью. Если пожертвовать быстродействием, объемом передачи данных или нарушать состыковку протоколов, то востребованность продуктов и сервисов значительно уменьшится.

Здесь возникает вопрос о том, как обеспечить комплексную безопасность, и на этой почве появляются различные концепции, включая Secure-by-Design – обеспечение безопасности на всех этапах производственного процесса, от разработки до поставки. Это включает в себя архитектурно спроектированные и реализованные компоненты системы, функции безопасности, а также более сложные методы обеспечения безопасности.

Необходимо учитывать уровень критичности систем и уровни распознавания потенциальных опасностей при обеспечении безопасности. Например, скомпрометированная веб-камера может оставаться незамеченной в течение длительного времени, представляя угрозу для пользователя. В другом случае, счетчик ЖКХ может нести скрытые угрозы распространения в сети, если он интегрирован в другую цифровую систему и связанс другимиэлементами. Здесь важно понимать, что угрозы могут привести к подаче ложных данных и выходу счетчика из строя. Если такие случаи не распознаются локально, то опасность может оставаться незамеченной на долгое время. Однако, если угроза распространится на другие звенья технологической цепи, то материальный ущерб может быть значительным. Поэтому важно оценивать уровень критичности и распознавать угрозы своевременно.

Аспект компрометации данных вообще имеет потенциально более широкие риски. На основе интерпретации данных ЖКХ – расхода воды или электричества – злоумышленник уже на вполне физическом уровне может спланировать проникновение в жилище именно в тот момент, когда в нем никого нет.

В отраслях городского хозяйства, промышленности и медицины угрозы по технологической цепочке могут иметь широкое распространение и критические последствия в среднесрочном икраткосрочном периодах. Например, компрометация любого элемента системы завода непрерывного

производства или атомной электростанции может привести к распространению угрозы через любой элемент системы, включая некритичные элементы, такие как веб-камеры или счетчики системы водоснабжения.

В отрасли здравоохранения требования к информационным и цифровым системам наслаиваются на сложное регулирование в области медицины, что может создать потенциально опасную ситуацию. Злоумышленники могут получить доступ к управленческим контурам и вмешиваться в работу кардиостимуляторов, оборудования для сложной диагностики и хирургического вмешательства. Цифровые технологии и кибер-физические системы, включая датчики и сенсоры, становятся неотъемлемой частью этих процессов. Неверные рекомендации к действию или бездействию, исходящие от машин к человеку, могут привести к прямому или косвенному ущербу.

Не стоит забывать, что угрозы в кибер-физических системах могут быть не только внешними, но и внутренними. Чем сложнее архитектура системы и чем хуже реализован стык разных решений, тем сложнее обеспечить ее безопасность и доверенность. Поэтому важно обеспечивать безопасность не только на уровне информационной безопасности, но и на уровне корневых технологических процессов, включая качество разработки элементов системы, их взаимодействие и интеграцию.

Тема «Интернета вещей» имеет свои особенности, но в конечном счете, в устройствах M2M именно данные являются наиболее незащищенной частью системы. Их можно скомпрометировать на любом этапе работы элементов «Интернета вещей», «Промышленного интернета», сенсорных сетей, а именно сбор, передача, хранение информации. Можно повлиять на доверенность и объективность данных, а также модифицировать их.

Когда речь заходит о машинном обучении, необходимо учитывать множество угроз, которые актуальны для «Интернета вещей» и «Больших данных». Кроме того, тема искусственного интеллекта и машинного обучения также имеет свои специфические угрозы. Все эти элементы взаимосвязаны и образуют сложную цепочку, которая содержит не только внутренние риски и угрозы, но и наследственные угрозы, передаваемые по цепи. Главная задача здесь - обеспечить комплексную безопасность и доверенность для всех элементов цепи, чтобы минимизировать риски и обезопасить процесс машинного обучения.

Кибер-физические системы стали объектом желания злоумышленников, которые стремятся получить выгоду и победить в нездоровой конкуренции. Если раньше бандиты грабили людей в темных подворотнях, то сейчас они беззастенчиво обкрадывают электронные кошельки и получают доступ к конфиденциальным данным. Жажда наживы через воровство и вымогательство стала частью технологической конкуренции, которая происходит на разных уровнях: между корпорациями, компаниями, странами, политическими и экономическими структурами. К сожалению, эта конкуренция не всегда здоровая и не всегда способствует позитивному развитию.

Примером может служить обвинение русских хакеров во всех бедах со стороны западного мира, что свидетельствует о профессиональной конкуренции и появлении уязвимостей у самих участников взаимодействия. Некоторые используют это для увеличения продаж, а другие - для распространения своих взглядов на добро и зло.

Мошенники и преступники, которые безнаказанно ведут свою преступную деятельность, находятся в маркетплейсах, социальных сетях и интернет-сервисах, где ониэксплуатируют доверчивость инеграмотность малозащищенных слоевнаселения. Блокчейн может стать важным инструментом для защиты кибер-физических систем, но не следует рассматривать его как универсальное решение всех проблем безопасности. Он может обеспечить доверенность и защищенность систем, но не является автономной технологиейиимеет свои ограничения. Однако, ажиотаж вокруг блокчейна в последние годы навредил его объективной оценке и практическому применению. Многие забывают о его инструментальном смысле и уходят в диалог про криптовалюты. Аналогичная ситуация может сложиться и вокруг искусственного интеллекта, что может навредить делу и свести нас с пути качественной практической имплементации и достижения позитивных эффектов от его применения. Искусственный интеллект (ИИ) сложная тема, которая требует комплексного подхода и

ориентации на практическое применение. Возможности искусственного интеллекта в обеспечении безопасности кибер-физических систем неоспоримы, но важно помнить, что ИИ не является автономной сверхинтеллектуальной силой, способной решать все проблемы человечества. Развитие ИИ уже более полувека, и за это время взгляды на эту технологию менялись неоднократно. Сегодня мы наблюдаем новый этап эволюции подходов к ИИ, который связан с развитием нейросетей, машинного и глубокого обучения, а также больших данных. Применение ИИ в сопряжении с технологиями биометрии может стать перспективным в самых разных модальностях. Однако, помимо наследственных угроз, ИИ также выявляет свои уникальные проблемы в виде предвзятости, объективности, доверенности и этики. Важно учитывать эти аспекты при разработке и применении ИИ.

Широкие перспективы есть и у технологии квантовых коммуникаций. Это действительно достаточно самостоятельная технология, которая в сочетании с кибер-физическими системами может дать

потрясающие эффекты в среднесрочном периоде и обеспечить переход на совершенно другой уровень обеспечения доверенности.

Технология квантовых коммуникаций имеет большой потенциал. Она является независимой технологией, которая вместе с кибер-физическими системами может привести к потрясающим результатам в ближайшем будущем и обеспечить более высокий уровень доверия. Модераторам технических дискуссий и вопросов нормативного регулирования необходимо быть осмотрительными при установлении объективных и положительных ограничений на технологию.

С развитием Интернета вещей и сетей 5G количество подключаемых устройств и объемы передаваемых данных растут. Радикально увеличится количество подключенных датчиков, сенсоров, различных устройств, вырастет трафик от них. И большая часть этих устройств будет находиться в прямом или опосредованном взаимодействии с человеком, а здесь влияние человека, возможность нарушения им гармоничных связей во встроенных системах, которые и сами могут быть дисгармонизированы каким-либо образом, крайне велики.

Пользователи кибер-физических систем сталкиваются с вопросами доверенности и безопасности, а стандарты, нормативно-технические документы и рекомендации могут стать руководством по решению потенциальных проблем.

Очевидно, что стандарты не смогут решить данную проблему полностью, но смогут помочь пользователей не совершать базовых ошибок. В данном контексте, корректно сравнить кибер-физическую безопасность с уроками ОБЖ, которые все проходили в школе, но которые, по мнению многих, были бесполезными. Но когда пандемия заставила нас понимать, что базовые знания о безопасности здоровья, такие как мытье рук и соблюдение личной гигиены, очень важны, стало ясно, что эти знания помогут снизить риски заболевания и сохранить жизнь. Поэтому важно понимать, что уроки цифровой гигиены и цифровой грамотности также необходимы.

Именно поэтому ТК 194 уделяет такое внимание разработке новых стандартов. При разработ кестандартов отдельное внимание уделяетсясотрудничеству с профильными техническими комитетами. Важным аспектом в этом процессе является гармонизация новых стандартов с уже существующими и перспективными в области ИБ. Для успешности подобных коммуникаций поддерживаются горизонтальные связи и подписываются соглашения о взаимодействии с другими организациями. Наличие таких связей позволяет не только повышать качество технологических решений и требований к ним, которые проходят через ТК 194.

Тематика, связанная с разработкой и утверждением протоколов безопасности Интернета вещей, является весьма специфической и требует тщательной проработки. Так как для успешной реализации технологии необходимо не только представить ее на рынке, но и обеспечить ее принятие без участников этого рынка. Поэтому ТК 194 добивается совместного подтверждения документов безопасности в результате публичных обсуждений, а разработанные протоколы должны функционировать эффективно и не иметь ограничений или оговорок со стороны регуляторов.

Примером того, как работа над стандартами может влиятьна развитие технологии, служат протоколы NB-Fi и LoRaWAN RU, а также проекты OpenUNB и OpenRAN. Они показывают, что работа над нормативно-техническим документом позволяет не только участвовать в развитии стандарта, но и на основе полученных знаний-компетенций ввести эффективные изменения в саму корневую технологию. Эта история свидетельствует о том, что стандарты и технологии взаимодействуют, а структурированная работа поразработке стандартов может оказывать положительный эффект на эффективность новых технологий.

На сегодняшний день большое количество специалистов в области информационной безопасности взаимодействуют с ТК 194. Группы, входящие в состав ТК 194, объединяют около ста различных организаций, включая государственные органы исполнительной власти, крупные корпорации, стартапы в области технологий, институты развития, центры научно-образовательной деятельности, а также российских энтузиастов в области информационной безопасности.

Примером успешного сотрудничества является «Лаборатория Касперского». Во второй половине 2020 года была проведена процедура публичного обсуждения серии предварительных национальных стандартов, которые регулируют базовые вопросы доверенности «Интернета вещей» в России. В данных стандартах был использован архитектурный подход, основанный на разделении доменов. Этот подход является передовой методикой построения Интернета вещей, которая позволяет сделать его экономически эффективным, доверенным и безопасным. Результаты данного сотрудничества являются положительной историей взаимодействия и подтверждаются совместной работой на международных экспертных площадках. Кроме того, следует отметить долгосрочное сотрудничество с такими организациями, как Академия криптографии Российской Федерации, «ИнфоТеКС», «КриптоПро», «Криптонит», «Инфовотч». В рамках данного сотрудничества ведется совместная работа попроведению исследований и обеспечению криптографической защищенности протоколов «Интернета вещей», а также совместные действия по разработке окончательных редакций стандартов в области «умного производства», «умных городов»,

«цифровых двойников».

ТК 194 занимается разработкой новых стандартов, которые напрямую связаны с вопросами безопасности и доверенности в Интернете вещей и Промышленном интернете. Кроме того, они также работают над стандартами, связанными с «умным производством», «умной промышленностью», «умными городами» и взаимодействием кибер-физических систем. Некоторые из уже утвержденных протоколов включают NB-Fi и LoRaWAN RU, а также готовятся к публичному обсуждению новые протоколы Интернета вещей, такие как OpenUNB. Так же комитет планирует начать работу над разработкой серии стандартов в области квантовых коммуникаций, которые будут иметь важное значение для технологического развития страны. Эта работа будет включать разработку стандартов для квантового Интернета вещей.

ТК 194 использует формат предварительных национальных стандартов (ПНСТ), чтобы ускорить выход на рынок и получить практическое подтверждение рыночного потенциала технологий. Путем приглашения всех заинтересованных в развитии этой работы снимается часть рисков, что позволяет скорейшим путем добираться до практической реализации и практического подтверждения ключевых тезисов о рыночном потенциале этих технологий на национальном, межгосударственном и международном уровнях.

Это необходимо для того, чтобы быть конкурентоспособными на глобальном уровне, ведь в цифровой тематике невозможно быть конкурентоспособным локально.

У ТК 194 и подобных ему комитетов отвечающих за информационную безопасность кибер-физических систем используется множество различных методы и технологии помогающих сохранить системы защищенными как от внешних, так и от внутренних несанкционированных проникновений. В частности системы, включающие в себя технологии искусственного интеллекта, интернета вещей, облачных сервисовразвиваются очень активно. Для того, чтобы этитехнологиимогли полностью раскрыть свой потенциал, необходимо развивать и совершенствовать системы информационной безопасности. Только в таком случае можно гарантировать защиту от кибератак, которые могут нанести серьезный ущерб как самой технологии так и ее популяризации в массах. К тому же кроме развития самих технологий злоумышлиники всегда стараются улучшить и видоизменить свои инструменты для взлома кибер-физических систем. Именно поэтому информационная безопасность должна быть высокоэффективной. Открытой к развитиюи постоянно оптимизировать процессы, улучшать анализ данных и алгоритмы работы.

Для повышения эффективности комитетов, занимающихся информационной безопасностью, можно использовать классические модели производственной эффективности. Однако на практике эти модели не всегда учитывают технические аспекты, которые напрямую влияют на финансовые показатели. Разобщенность специалистов экономического и технического состава и относительная сложность инструментария для измерения и мониторинга технической статистики обуславливают сложности комплексной оценки эффективности современного производства. Сбор и обработка значительных объемов технологической статистики, порождаемой как оборудованием, так и производственными процессами, из потока данных в полезные знания является нетривиальной задачей [4].

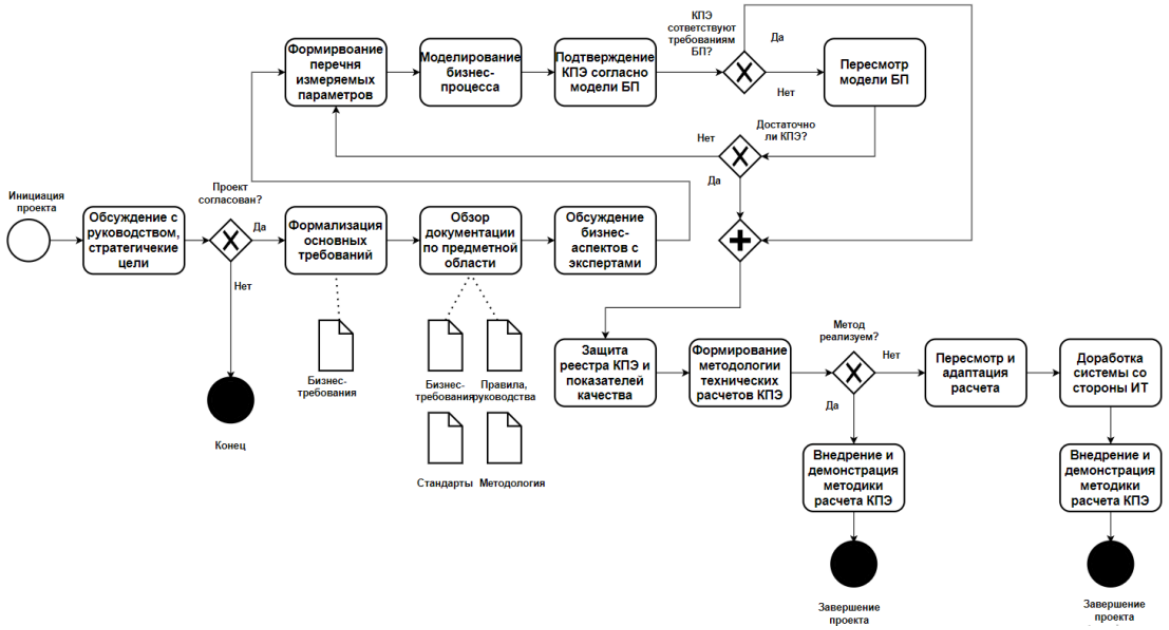


Рисунок 1 - Эволюционная модель показателей эффективности

Оценка эффективности производственной системы осуществляется посредством KPI (Key Performance Indicators или ключевые показатели эффективности), которые подвергаются картированию [5]. При этом сами KPI являются активными элементами производственной модели, они имеют свойство морфинга (изменения). На рисунке 1 представлена модель сбора, хранения и измерения, а значит и управления показателями эффективности.

В начальном шаге обсуждается необходимость внедрения современных методов оценки эффективности, формулируются видение и цели, утверждается проект.

На втором шаге происходит уточнение производственных и оформление технических требований. Формируется список участников проекта (активных элементов модели): заказчиков, методологов, экспертов и др.

Последовательность этапов, приведенных на рисунке 1, формирует необходимый перечень технических KPI, которые применяются для оценки производственного процесса.

Заключение

После опытной эксплуатации и подтверждения корректности выбранных методик контроля технологичности, производительности и методов расчета показателей формируется задание на проведение мероприятий по обеспечению заданного уровня KPI с подробным перечислением базовых элементарных измерений PI (Performance indicator), моделей KPI и остальных метаданных. Если текущая реализация мероприятий по обеспечению заданного уровня KPI не позволяет добиться ожидаемого результата, то проводится корректировка модели обеспечения показателей эффективности.

Эволюционная модель показателей эффективности может быть очень полезной для оценки и улучшения уровня информационной безопасности в кибер-физических системах. Эта модель позволяет учитывать не только финансовые показатели, но и технические аспекты, такие как надежность и доступность системы. В отличиеот классических моделей, которыеимеют статичнуюструктуру, Эволюционная модель показателей эффективностипозволяет оценивать эффективность разработанного протокола/документации/технологии информационной безопасности для кибер-физических систем.

Литература

1. Баранов В.В. Преступления в сфере информационных технологий // Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов - Москва, 07 июня 2017 г. С. 301-308.

2. Шмонин А.В. Некоторые тенденции влияния индустриальной революции на деятельность органов внутренних дел в сфере борьбы с компьютерными преступлениями // Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов - Москва, 07 июня 2017 г. С. 334-339.

3.Адамов А.П., Адамова А.А., Власов А.И. Дифференциальные коэффициенты оценки технологичности электронных средств и их применение при структурно-функциональном моделировании производственных систем // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. 2015. № 5 (104). С. 109-123..

4. Власов А.И., Ганев Ю.М., Карпунин А.А. Картирование потока создания ценностей в концепции "Бережливого производства" // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2016. № 2 (162). С. 23-27.

5. Адамов А.П., Адамова А.А. Семантический анализ перспективных изделий микро-и наноэлектроники с точки зрения увеличения ключевых показателей качества и технологичности // Надежность и качество сложных систем. 2017. № 3 (19). С. 94-101.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ МИКШИРОВАНИЯ ЗВУКОВЫХ ПОТОКОВ В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Колпаков А.А., Чугунова Д.И., Проскуряков А.Ю., Бейлекчи Д.В.
Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» 602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
+7 (960) 172-68-95, desT.087@gmail.com

В современной вычислительной системе одной из важных составных частей являются мультимедийные средства. Важной составной частью мультимедиа является звук или аудио, звуковая информация. В компьютерной технике аудиоинформация представляется в цифровом виде. По мере развития компьютерных технологий возрастают требования к представлению аудиоинформации. Эти

требования охватывают вопросы повышения естественности воспроизведения звука, сокращения объема аудиофайлов при сохранении высокого качества их звучания и т. п. В данной статье рассматриваются вопросы микширования звука в многопроцессорных системах, методы оптимизации алгоритмов микширования звуковых потоков для многопоточных систем. Приведены результаты экспериментального тестирования. Все это служит для разработки более эффективного алгоритма микширования звука и его оптимизации.

Ключевые слова: многопоточные алгоритмы, микширование звуковых потоков, многопроцессорные системы.

In a modern computing system, multimedia tools are one of the important components. An important component of multimedia is sound or audio, audio information. In computer technology, audio information is presented in digital form. With the development of computer technology, the requirements for the presentation of audio information are increasing. These requirements cover issues of increasing the naturalness of sound reproduction, reducing the volume of audio files while maintaining high sound quality, etc. This article discusses the issues of sound mixing in multiprocessor systems, methods for optimizing algorithms for mixing audio streams for multithreaded systems. The results of experimental testing are presented. All this serves to develop a more efficient sound mixing algorithm and optimize it.

Keywords: multithreaded algorithms, audio stream mixing, multiprocessor systems.

При разработке систем громкоговорящей связи, имеющих режим конференции, одним из основных алгоритмов, требующих внимания разработчиков, является алгоритм микширования аудиопотоков. Т.к. данный алгоритм при наличии большого количества абонентов требует повышения производительности обработки данных, то очевидным путем оптимизации производительности является использование многопроцессорной обработки данных.

В работах [1] и [2] был представлен разработанный алгоритм расширенного микширования для систем громкоговорящей связи, реализованный с использованием возможностей распараллеливания графического процессора. На текущий момент реализация данного алгоритма на языке программирования устарела, поэтому была разработана новая реализация с учетом появившихся технологий. Т.к. реализация алгоритма на языке шейдеров является громоздкой и труднооптимизируемой, для новой реализации был выбран язык C++ с применением технологии NVIDIA CUDA.

Представленный алгоритм основан на преобразовании текстурных блоков и производит обработку в два прохода. Схема преобразования приведена на рисунках 1 и 2.

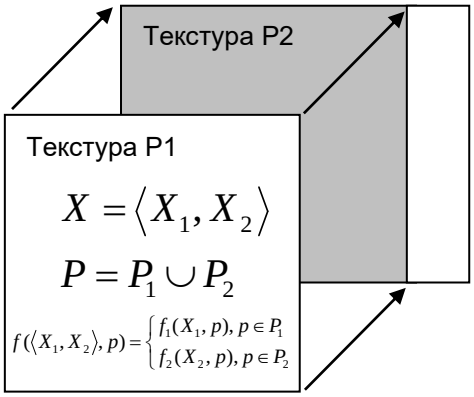


Рисунок 1 – Первый проход алгоритма

Для уточнения практических характеристик разработанного алгоритма было проведено экспериментальное исследование данного алгоритма в сравнении с библиотекой cuSignal – библиотекой обработки сигналов с ускорением GPU на Python. По заявлениям разработчиков данная библиотека имеет следующие преимущества:

1. Обеспечивает значительное ускорение работы процессора с помощью знакомого API
2. Поддерживает подключение с нулевым копированием к популярным фреймворкам глубокого обучения, таким как Python, Tensorflow и Jax
3. Работает на любом графическом процессоре с поддержкой CUDA архитектуры Maxwell или новее, включая Jetson Nano
4. Оптимизирует потоковую передачу приложений в режиме реального времени с помощью буфера памяти с нулевым копированием между процессором и графическим процессором
5. Полностью построен в рамках экосистемы GPU Python, где как основная функциональность, так и оптимизированные ядра зависят от проектов CuPy и Numba

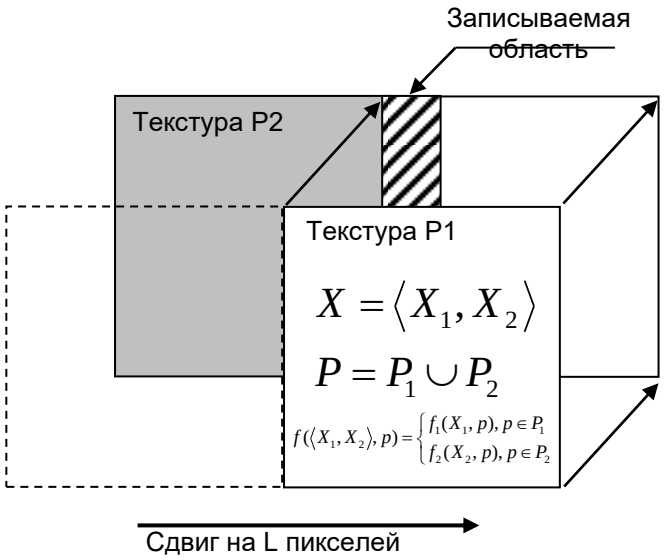


Рисунок 2 – Второй проход алгоритма

Данная библиотека является универсальным инструментом, поэтому содержит большое количество алгоритмов обработки сигналов, однако ее использование оправдано для ускорения процесса разработки. Также очень привлекательным является ее оптимизация для систем на базе NVIDIA Jetson Nano, что позволяет разрабатывать телекоммуникационную систему на базе микрокомпьютера.

Методика экспериментальных исследований заключалось в следующем:

1. Определение времени обработки разного количества семплов с разной продолжительностью. Были сформированы семплы звуковых сигналов размерностью 3, 30 и 60 секунд и проводилось микширование семплов количеством от 10 до 100 с шагом 10. Далее вычислялось среднее время обработки данных при заданных параметрах.
2. Определение загруженности вычислительного модуля в процентах при обработке данных с различными параметрами микширования.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунках 3-8.

На рисунках 3-5 приведены результаты экспериментального исследования времени обработки данных с использованием исследуемых методов.

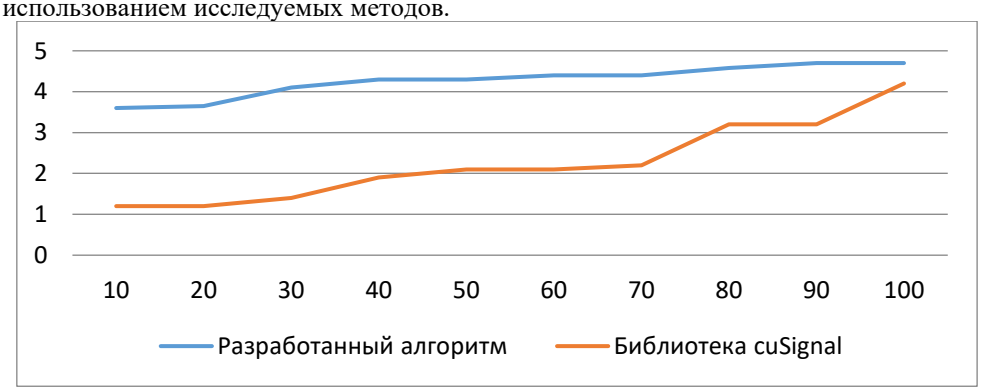


Рисунок 3 – Экспериментальное исследование времени обработки семплов размером 3 с

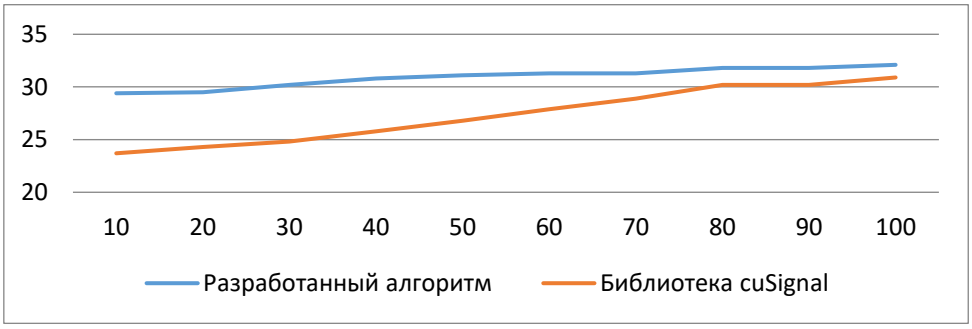


Рисунок 4 – Экспериментальное исследование времени обработки семплов размером 30 с

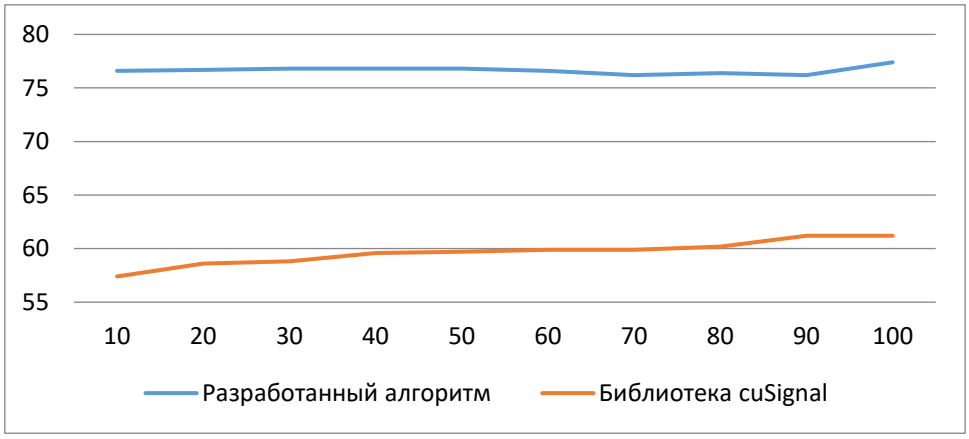


Рисунок 5 – Экспериментальное исследование времени обработки семплов размером 60 с

Как видно из представленных результатов, разработанный алгоритм требует дальнейшей оптимизации, т.к. алгоритм из состава библиотеки cuSignal оптимизирован для GPU лучше, что приводит к более оптимальным показателям задержки обработки данных. Однако, в абсолютных показателях разработанный алгоритм показывает приемлемый результат для его дальнейшего практического применения.

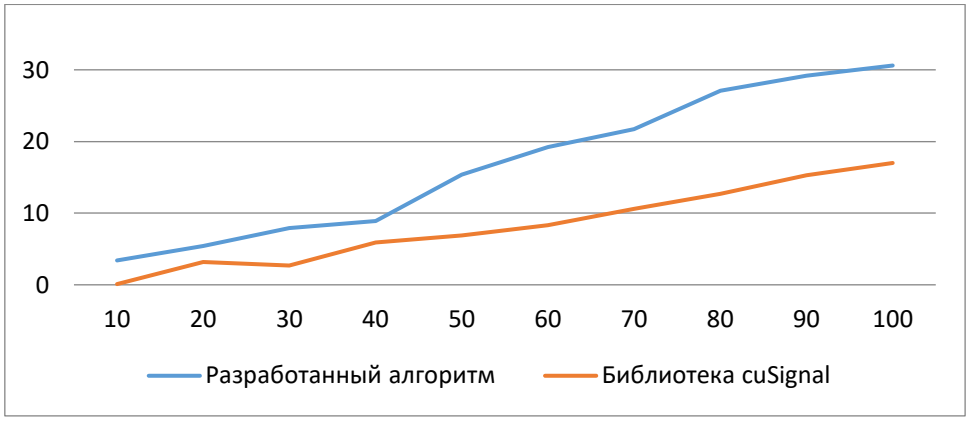


Рисунок 6 – Экспериментальное исследование загруженности вычислительного модуля при обработке семплов размером 3 с

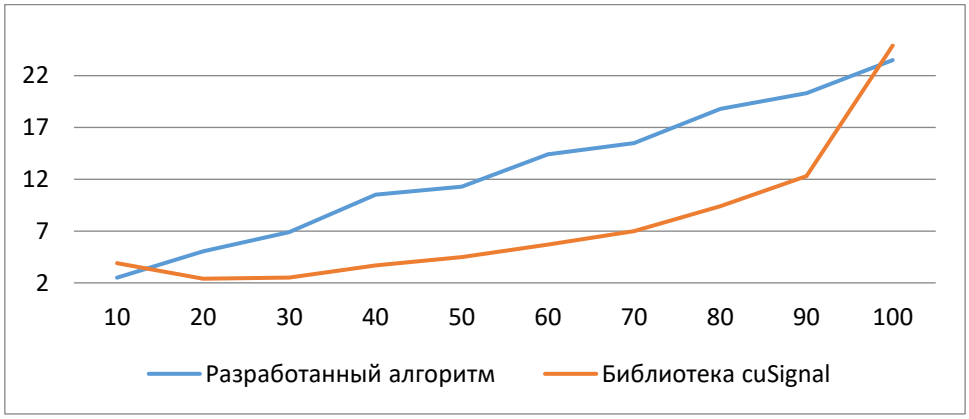


Рисунок 7 – Экспериментальное исследование загруженности вычислительного модуля при обработке семплов размером 30 с

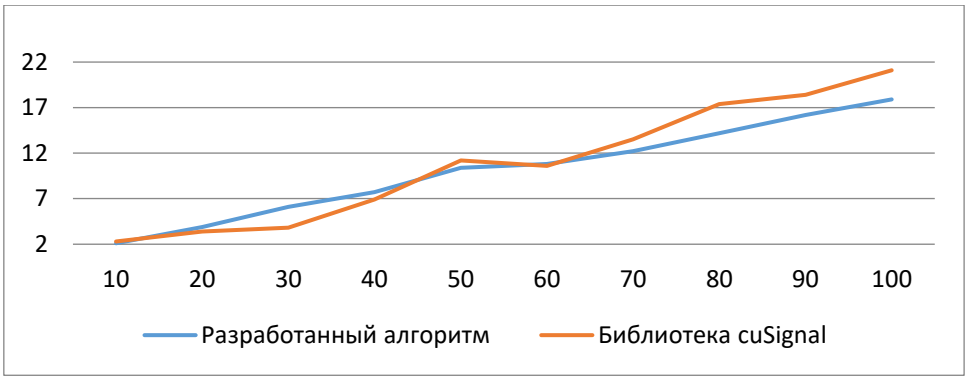


Рисунок 8 – Экспериментальное исследование загруженности вычислительного модуля при обработке семплов размером 60 с

Как видно из представленных результатов, при длительности семплов до 30 секунд разработанный алгоритм больше загружает вычислительный модуль, однако при увеличении семпла до 60 секунд результаты обоих алгоритмов практически идентичны, что говорит о достаточной оптимизации разработанного алгоритма в вопросе распределения нагрузки на вычислительный модуль.

Заключение

В ходе работы было проведено экспериментальное исследование разработанного расширенного алгоритма микширования аудиосигнала и алгоритма микширования из состава библиотеки cuSignal. Оба алгоритма разработаны для применения совместно с технологией NVIDIA CUDA.

Из полученных в ходе экспериментального исследования результатов были сделаны следующие выводы:

1. Исследование времени, затраченного на обработку семплов, показало, что разработанный алгоритм требует дальнейшей оптимизации, однако его показатели достаточны для использования в разрабатываемых телекоммуникационных системах.

2. Загруженность вычислительного модуля при размере семплов менее 30 секунд меньше для алгоритма из библиотеки cuSignal, однако при увеличении размерности семплов выше 60 секунд разработанный алгоритм показывает схожие характеристики. Это показывает, что применяемые при разработке данного алгоритма методы являются корректными и оптимальными для выбранной платформы.

В целом, результаты исследования показали, что разработанный алгоритм является актуальным и может быть использован для разработки современных телекоммуникационных систем.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта «Протоколы, алгоритмы и программные структуры повышения производительности и помехозащищенности телекоммуникационных систем» при финансовой поддержке Российского научного фонда за счет гранта № 22-29-20174.

Литература

1. Kolpakov, A. A. Research on improving the performance of telecommunication broadcasting and warning systems from the type of microprocessor platforms / A. A. Kolpakov, A. A. Belov, Y. A. Kropotov // Journal of Physics: Conference Series : 14, Omsk, 10–12 ноября 2020 года. – Omsk, 2021. – P. 012049. – DOI 10.1088/1742-6596/1791/1/012049. – EDN TEEZXG.

2. Колпаков, А. А. Расширенный алгоритм микширования аудиопотоков для многопроцессорных устройств в телекоммуникациях / А. А. Колпаков, Ю. А. Кропотов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 3(51). – С. 216-223. – DOI 10.12737/22100. – EDN WRIWGT.

3. Архипцев, Е. Д. Микширование аудиопотоков по технологии WebRTC в дистанционном образовании / Е. Д. Архипцев, Н. С. Мокрецов, Т. М. Татарникова // Современное образование: содержание, технологии, качество. – 2023. – Т. 1. – С. 197-199. – EDN GVFYZQ.

4. Кочетова, В. О. Современные технологии сведения музыки / В. О. Кочетова, Д. А. Арсентьев // Вестник науки. – 2020. – Т. 1, № 1(22). – С. 150-153. – EDN GQFJKC.

5. 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.

6. Метод преобразования стерео звука в многоканальный / М. Н. Гусев, М. О. Пахомов, В. С. Рожнов [и др.] // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2018. – № 2. – С. 8-17. – EDN WBIJPF.

7. Suzuki, Y. Effects of Mixing Low-frequency Waves - Deep Micro Vibrotactile with Sounds / Y. Suzuki // Journal of Robotics, Networking and Artificial Life. – 2022. – Vol. 8, No. 4. – P. 289-292. – DOI 10.2991/jrnal.k.211108.012. – EDN BPQYCV.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ НА ОДНОПЛАТНЫХ КОМПЬЮТЕРАХ

Гавриков А.П., Колпаков А.А., Бейлекчи Д.В.
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

Данная статья посвящена экспериментальному исследованию характеристик библиотеки для распознавания речи на одноплатных компьютерах. В рамках исследования проведена комплексная оценка производительности и точности работы выбранной библиотеки на различных типах одноплатных компьютеров с различными характеристиками.

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.

This article is devoted to an experimental study of the characteristics of the library for speech recognition on single-board computers. As part of the study, a comprehensive assessment of the performance and accuracy of the selected library on various types of single-board computers with different characteristics was carried out.

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 настоящее время распознавание речи стало одной из наиболее актуальных тем в области искусственного интеллекта и обработки естественного языка. Множество применений распознавания речи, включая голосовые помощники, системы автоматического ответа, а также технические средства для людей со слабым слухом, стало фундаментальной необходимостью в нашем современном информационном обществе. Одним из направлений развития систем распознавания связи является разработка модулей распознавания речи для управления пультами систем громкоговорящей связи.

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.

Целью данного исследования является определение необходимых характеристик, которыми должны обладать одноплатные компьютеры для применения на них библиотек распознавания речи. Такое определение может быть полезно для разработчиков систем распознавания речи, позволяя им выбрать наиболее эффективную платформу для своих проектов. Поскольку одноплатные компьютеры становятся все более доступными и популярными, практические результаты этого исследования могут способствовать прогрессу в области распознавания речи и его интеграции в различные системы. Чтобы достичь этой цели, было проведено экспериментальное исследование производительности и точности работы различных библиотек распознавания речи на различных моделях одноплатных компьютеров. Полученные результаты позволят сделать выводы относительно того, какая платформа является наиболее подходящей для эффективной реализации системы распознавания речи.

В данном исследовании мы рассматриваем производительность и точность работы библиотек распознавания речи на одноплатных компьютерах Raspberry Pi 4, Raspberry Pi 3 и Orange Pi One.

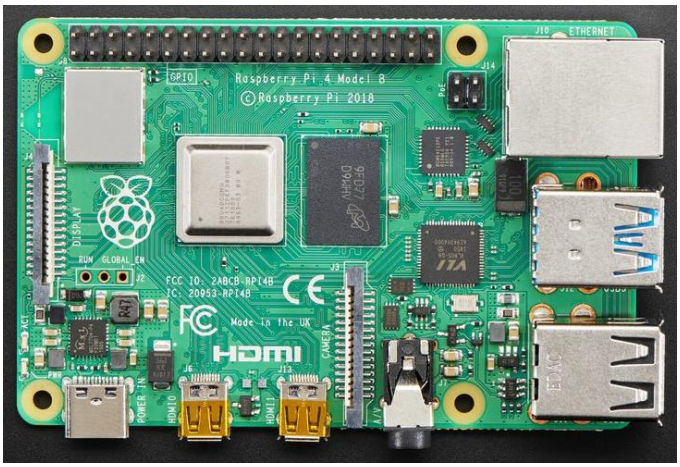


Рисунок 1 – Raspberry Pi 4

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.

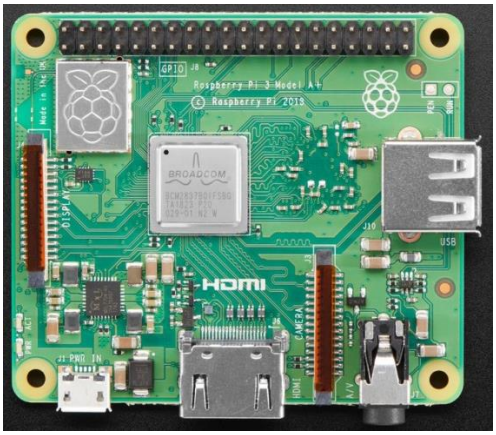


Рисунок 2 – Raspberry Pi 3

Raspberry Pi 3 – это предыдущая модель одноплатного компьютера Raspberry Pi, представленная на рисунке 2, выпущенная в 2016 году. Он оснащен 1,2-гигагерцевым четырехъядерным процессором ARM Cortex-A53 и 1 ГБ оперативной памяти LPDDR2. Устройство имеет встроенный модуль Wi-Fi и Bluetooth, что обеспечивает более удобное подключение к беспроводным сетям и периферийным устройствам. Raspberry Pi 3 также поддерживает разрешение Full HD на одном мониторе.



Рисунок 3 – Orange Pi One

Orange Pi One[2] – это одноплатный компьютер, представленный на рисунке 3, разработанный компанией Shenzhen Xunlong Software Co. Ltd, китайским производителем одноплатных компьютеров. Он оснащен 1,2-гигагерцевым четырехъядерным процессором ARM Cortex-A7 и 1 ГБ оперативной памяти. Устройство имеет поддержку Ethernet, разъем HDMI, USB-порты и слот для карт памяти microSD. Orange Pi One также обладает Wi-Fi модулем, что позволяет подключаться к беспроводным сетям. Этот одноплатный компьютер предоставляет разрешение Full HD на одном мониторе. Он предоставляет доступный вариант для создания системы на одноплатном компьютере.

Оба Raspberry Pi 4 и 3, а также Orange Pi One 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 была рассмотрена библиотека Vosk, использующая нейронные сети для распознавания речи на одноплатных компьютерах. Она представляет собой эффективное решение с применением глубокого обучения, акустической модели Kaldi Toolkit и нейронной сети Jasper для достижения высокой точности и надежности распознавания речи.

Одна из ключевых особенностей библиотеки Vosk – это поддержка различных языковых моделей. Благодаря этому, она способна обрабатывать речь на многих языках и с различными акцентами. Воспроизведение широкого диапазона естественных языков является значительным прорывом в распознавании речи на одноплатных компьютерах.

Библиотека Vosk также обладает широкой поддержкой операционных систем, что обеспечивает гибкость ее использования. Она может быть установлена и работать на различных ОС, включая Linux, Windows и macOS, что обеспечивает широкую доступность и применимость этой библиотеки для различных проектов.

Важным преимуществом Vosk является ее оптимизированная архитектура, позволяющая использовать ее на одноплатных компьютерах с ограниченными ресурсами. Это делает ее пригодной для встраивания в ресурсоемкие приложения, где производительность и эффективность являются ключевыми факторами. Также одним из ее преимуществ является возможность использования оффлайновых моделей, что делает ее независимой от подключения к сети Интернет. Это особенно важно для разработки устройств, предназначенных для систем громкоговорящей связи, работающих автономно.

Благодаря использованию нейронных сетей и передовых методов, библиотека Vosk достигает высокой точности и стабильности в распознавании речи на одноплатных компьютерах. Она внедрена с использованием больших наборов данных и способна обрабатывать шумные и разнообразные аудиозаписи, предоставляя высококачественные результаты.



Рисунок 4 – Архитектура программы

В данном исследовании был разработан программа на языке программирования C[5] для выполнения распознавания речи, замеров производительности и последующего вывода результатов в консоль в виде текста. Код был написан с целью измерения времени работы программы на каждом этапе распознавания, как показано на одном из шагов на рисунке 4.

Код был ориентирован на требования и возможности библиотеки Vosk, основанные на ее API и документации. Это обеспечило правильную интеграцию и использование функциональности библиотеки для выполнения распознавания речи.

При выполнении тестового кода, было проведено распознавание речи с использованием алгоритмов и моделей из библиотеки Vosk. С помощью соответствующих функций и методов внутри кода, время выполнения было записано на каждой итерации распознавания.

Таблица 1 – Время обработки тестовых отрезков на одноплатных компьютерах

	Текст №1	Текст №2	Текст №3	Текст №4
Raspberry Pi 4	7 064 ms	14 514 ms	14 264 ms	21 975 ms
Raspberry Pi 3	26 786 ms	19 168 ms	26 949 ms	42 378 ms
Orange Pi One	37 291 ms	26 442 ms	37 356 ms	55 381 ms

Методика, основанная на написании тестового кода для выполнения распознавания речи с использованием библиотеки Vosk и измерении времени работы программы, позволяет оценить производительность и точность этой библиотеки на одноплатных компьютерах. Этот метод является

важным инструментом для исследования и разработки эффективных систем распознавания речи на подобных устройствах.

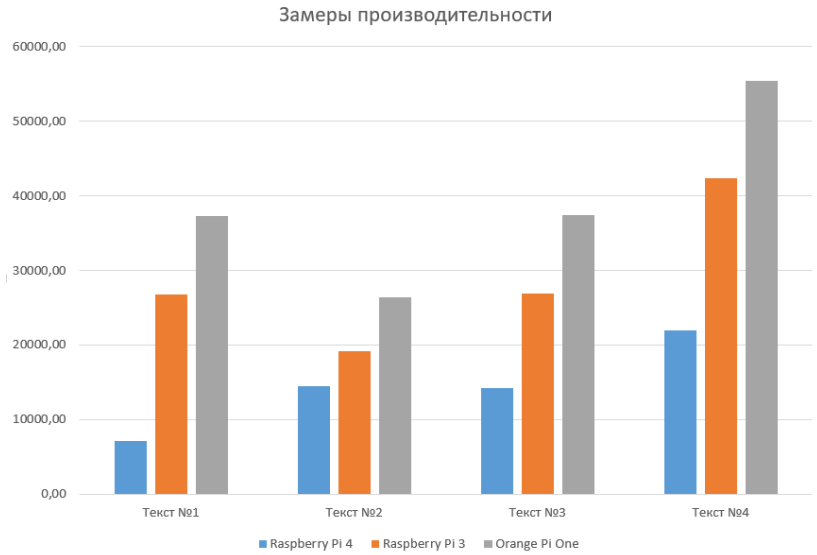


Рисунок 5 – Гистограмма показателей производительности одноплатных компьютеров

Далее были проведены экспериментальные исследования точности распознавания речи на одноплатных компьютерах. Анализ точности выполнения распознавания был основан на оценках для различных аудиофайлов.

Аудиофайлы Test.wav, Test2.wav, Test3.wav и Test4.wav были распознаны, и для каждого файлового набора была рассчитана точность. Для Test2.wav, Test3.wav и Test4.wav, которые состояли из более длительных аудиозаписей, точность распознавания была измерена в виде отношения числа правильно распознанных слов к общему количеству слов.

Результаты показали, что Test.wav достиг точности 100%. Однако, для Test2.wav, Test3.wav и Test4.wav было достигнуто несколько более низкое значение точности, равное 0,9 (18/20), 0,78 (50/64) и 0,74 (75/102) соответственно. Это говорит о том, что при распознавании аудиозаписей, содержащих большее количество слов, точность распознавания может снижаться.

Общая (средняя точность), рассчитанная на основе полученных результатов, составляет 0,855. Эта метрика предоставляет оценку средней точности распознавания речи на одноплатных компьютерах с использованием выбранной языковой модели.

Важно отметить, что точность распознавания речи зависит от выбранной языковой модели, а не от самого компьютера. Чем более точная и актуальная языковая модель используется при распознавании, тем выше вероятность достижения более высокой точности распознавания. Поэтому при проведении исследований в области распознавания речи на одноплатных компьютерах следует учитывать аспекты языковых моделей для достижения наилучших результатов.

При исследовании производительности и точности работы библиотеки Vosk на одноплатных компьютерах, обнаружено, что длительность речи не оказывает существенного влияния на процесс распознавания. Это означает, что библиотека Vosk способна эффективно обрабатывать как короткие, так и длинные речевые сегменты.

Однако, исследование также выявило, что содержание речи может оказывать значительное воздействие на время распознавания. Более сложные сегменты речи, содержащие непроизносимые слова или акценты, могут потребовать дополнительных вычислительных ресурсов для правильного распознавания. Следовательно, для обеспечения оптимальной производительности и точности работы библиотеки Vosk, рекомендуется использовать четкую и понятную речь.

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

В данном исследовании было проведено экспериментально исследование производительности и точности работы библиотек для распознавания речи на одноплатных компьютерах Raspberry Pi 4, Raspberry Pi 3 и Orange Pi One. Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы.

В отношении производительности, проведенные тесты свидетельствуют, что Raspberry Pi 4 показывает отличные результаты и выполняет задачу распознавания речи с высокой производительностью. Его улучшенные технические характеристики обеспечивают эффективность работы и позволяют его успешное использование в распознавании речи.

Raspberry Pi 3 также достаточно справляется с задачей распознавания речи. Несмотря на некоторое снижение производительности по сравнению с Raspberry Pi 4, данные одноплатные компьютеры обеспечивают приемлемую производительность с допустимыми задержками.

Однако, при использовании одноплатного компьютера Orange Pi One наблюдаются существенные проблемы с производительностью в задаче распознавания речи. Ожидаются задержки в каждой итерации распознавания, что существенно ограничивает его применение в этом контексте.

В отношении точности, полученные результаты свидетельствуют о достаточно хорошей точности распознавания речи на одноплатных компьютерах. Однако, важно отметить, что точность зависит от выбранной языковой модели и качества аудиозаписей. Чем более точная и актуальная языковая модель используется, и чем лучше качество аудио, тем выше вероятность достижения более высокой точности распознавания.

В заключение, исследование производительности и точности работы библиотек для распознавания речи на одноплатных компьютерах показало, что Raspberry Pi 4 является наиболее предпочтительным выбором, обеспечивая высокую производительность без задержек. Raspberry Pi 3 также является приемлемым выбором с возможными задержками. Однако Orange Pi One не рекомендуется для использования в этой области из-за ожидаемых задержек, которые могут негативно сказаться на зависящих от этого задачах. При выборе языковой модели для достижения высокой точности необходимо учитывать ее актуальность и качество аудиозаписей. На основе результатов данного исследования можно выбрать наиболее подходящую платформу и языковую модель при разработке систем распознавания речи на одноплатных компьютерах.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта «Протоколы, алгоритмы и программные структуры повышения производительности и помехозащищенности телекоммуникационных систем» при финансовой поддержке Российского научного фонда за счет гранта № 22-29-20174.

Литература

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. Взаимодействие с устройствами интернета вещей с использованием голосового интерфейса / В. Н. Шматков, 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.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ СГЛАЖИВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ ПОМЕХ И ШУМОВ В СИСТЕМАХ ГРОМКОГОВОРЯЩЕЙ СВЯЗИ

Кирилин А.А., Бейлекчи Д.В., Проскуряков А.Ю.
Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
+7 (49234) 77-2-73, kaf-evt@yandex.ru

Данная статья посвящена исследованию эффективности алгоритмов сглаживания данных на качество звука в системах громкоговорящей связи с применением технологий цифровой телефонии.

Рассмотрен ряд распространенных источников помех и шумов, описаны система обработки и анализа сигнала с наложенными помехами для оценки алгоритмов обработки. Приведены результаты вычисления метрик для ряда алгоритмов сглаживания данных, дана оценка их эффективности для обеспечения качественной передачи данных в условиях различных помех и шумов.

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

Application of data smoothing algorithms for acoustic interference and noise filtering in loudspeaker systems. Kirilin A.A., Beylekchi D.V., Proskuryakov A. Yu. Murom Institute (branch) Vladimir State University.

This paper is devoted to research the effectiveness of data smoothing algorithms on audio quality in loudspeaker systems using digital telephony technologies.

A number of common sources of interference and noise are considered, the system of signal processing and analysis with superimposed interference for evaluation of processing algorithms is described. The results of metrics calculation for a number of data smoothing algorithms are given, and their efficiency is evaluated to ensure quality data transmission under various interference and noise conditions.

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

Одной из основных проблем в телекоммуникационных системах громкоговорящей связи является наличие акустических помех и шумов, поступающих на микрофоны вместе с полезным сигналом, который может привести к потере информации или ее искажение при передаче данных через интернет по протоколу VoIP [1]. Поэтому избавление от помех требует тщательного анализа и применения соответствующих алгоритмов, рассматриваемых в работах [2, 3].

Основной задачей данной работы является сравнение алгоритмов сглаживания данных и определение наиболее эффективных, которые могут обеспечивать качественную передачу и прием данных в условиях различных помех и шумов. В ходе исследования были проанализированы несколько методов, включая скользящее среднее, медианный фильтр, экспоненциальное сглаживание, фильтр нижних частот, надежная локальная регрессия, фильтр Савицкого-Голея и Вейвет-преобразование через пороговую обработку [1, 4]. Эксперименты проведены на данных, представляющих различные звуки, являющиеся для системы внешними акустическими помехами [5], такие как звук проезжающей машины, звуки общающейся людей, пение птиц, шум вентиляторов компьютера и крики людей, которые были наложены на два голоса – мужской и женский. В качестве инструмента для обработки и анализа сигналов была использована система Matlab, которая имеет широкий спектр библиотек для реализаций алгоритмов и их оценки методами, рассмотренными в [3]. Спектры сигналов и записи после сглаживания были использованы в качестве основы для оценки и сравнения алгоритмов. Структурная схема построенной системы обработки и анализа сигнала показана на рисунке 1.

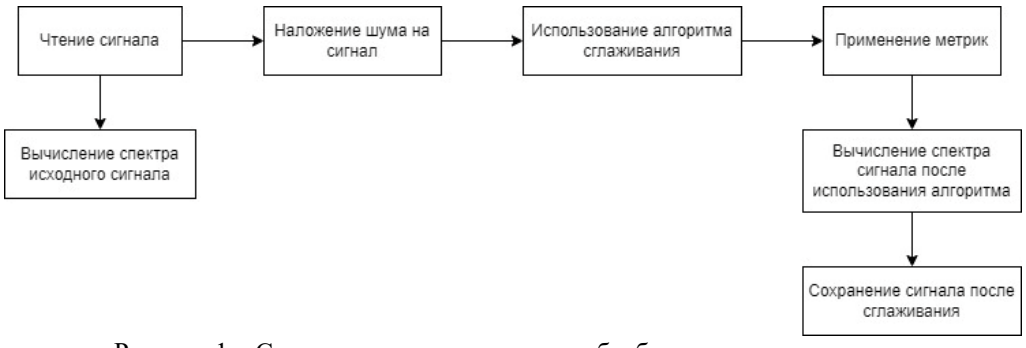


Рисунок 1 – Структурная схема системы обработки и анализа сигнала

В случае помехи, представленной пением птиц, результаты обработки которой показаны на рисунке 2, наилучшую эффективность продемонстрировал метод надежной локальной регрессии, который практически полностью устранил помеху с небольшой потерей полезной информации. Экспоненциальное сглаживание и скользящее среднее существенно снизили уровень помехи, однако высокоинтенсивные сигналы стали менее выраженными, что привело к снижению звука записи. Фильтр нижних частот успешно сгладил шум на высоком уровне, но привел к потере высокочастотных компонентов, в результате чего сигнал заметно отличается от оригинального.

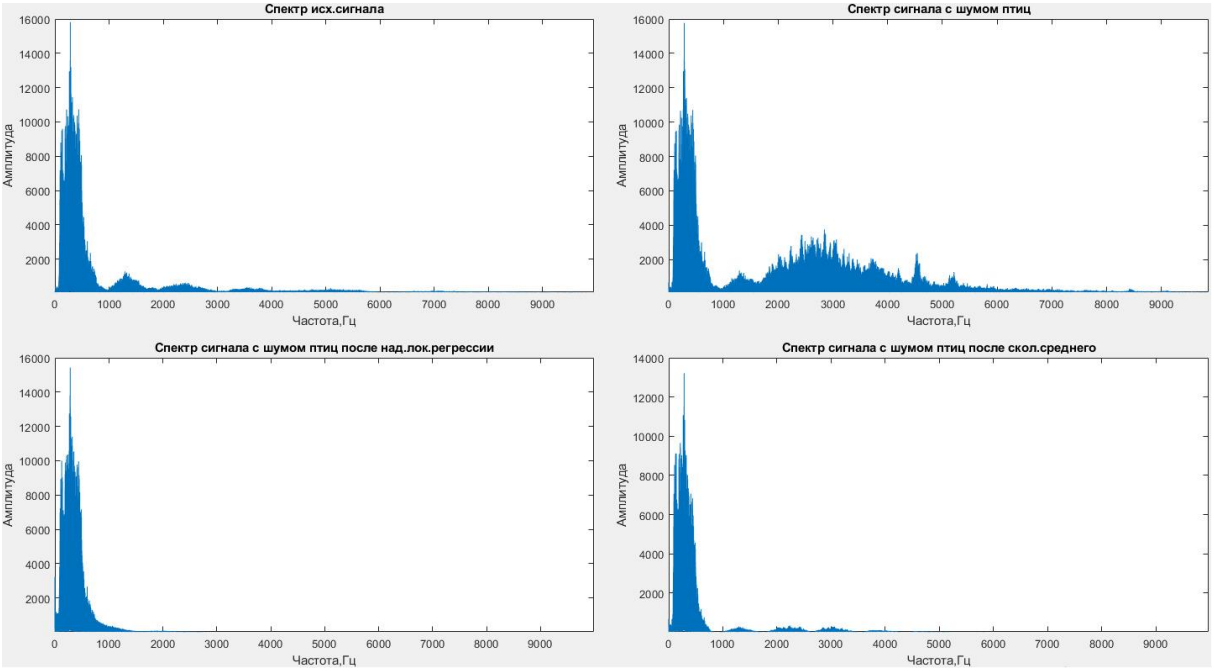


Рисунок 2 – Спектры сигнала для мужского голоса с пением птиц

Для шума от вентилятора оборудования, который характеризуется существенным превышением мощности над речевым сигналом, ни один из рассмотренных алгоритмов не достиг высоких результатов.

Результаты обработки речевого сигнала с шумом от вентилятора персонального компьютера приведены на рисунке 3.

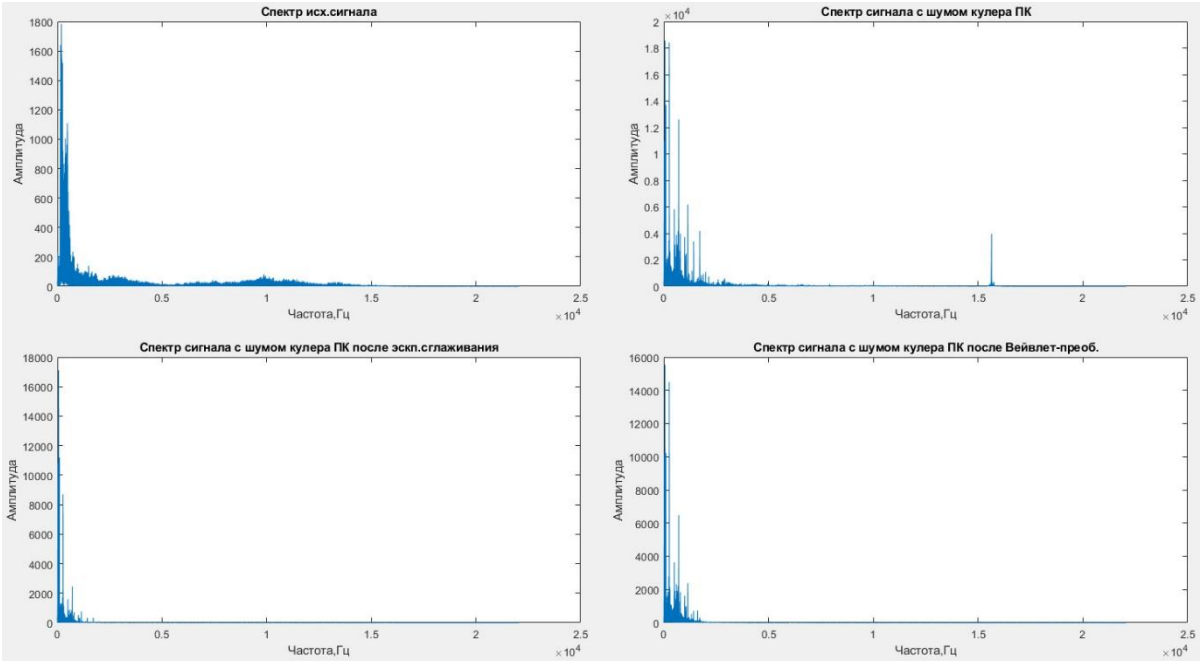


Рисунок 3 – Спектры сигнала для женского голоса с шумом вентилятора

Однако, некоторые методы частично справились с уменьшением шума:

– метод экспоненциального сглаживания продемонстрировал лучшие результаты в снижение уровня шума, однако также потерял часть полезной информации.

– вейвлет-преобразование справилось с сглаживание чуть хуже экспоненциального сглаживания, и произошло небольшое искажение записи из-за потери полезной информации.

– скользящее среднее показало наихудшие результаты среди этих трех методов, но все же достигло лучших результатов по сравнению с остальными методами, включенными в данную выборку.

Для шума, представленного проезжающей мимо машины, который слабо превышает мощность записи мужского голоса, но достаточно громче женского, следующие алгоритмы показали хорошие результаты:

– скользящее среднее продемонстрировал эффективное снижение уровня шума на обоих голосах, при этом лишь незначительно потеряв данные и сделав сигнал чуть тише.

– медианный фильтр показал немного худшие результаты по сравнению со скользящим средним. Он сохранил больше полезных данных, но также исказил звук, усложняя четкость слов.

– фильтр Савицкого-Голея справился на удовлетворительном уровне, обеспечивая достаточное сглаживания шума без существенного искажения данных.

– экспоненциальное сглаживание показало средний уровень эффективности, просто уменьшив уровень шума.

– фильтр нижних частот эффективно обработал речевой сигнал с мужским голосом, обеспечивая достаточный уровень сглаживания, однако на женской записи показал лишь результаты среднего уровня.

В случае помехи, представленного звуками общающейся толпы, который существенно превышает мощность записей, многие алгоритмы показали неудовлетворительные результаты. Наиболее эффективным методом в устранении шума с минимальным искажением полезной информации оказался фильтр Савицкого-Голея. Незначительно худшие, но также достаточно эффективные результаты продемонстрировали экспоненциальное сглаживание и скользящее среднее. Однако экспоненциальное сглаживание потеряло больше высокоамплитудных сигналов по сравнению со скользящим средним, что привело к снижению громкости записи, но также сделало шум меньше.

Следующие методы показали средний уровень эффективности: фильтр нижних частот и надежная локальная регрессия. Они успешно устраняли шум, но при этом потеряли значительное количество полезной информации и снизили уровень разборчивости речи.

Медианный фильтр и Вейвлет-преобразование сильно исказили исходный сигнал и привели к появлению артефактов, поэтому можно сказать, что они справились с помехой на недостаточном уровне.

Результаты обработки речевого сигнала с помехой, представленной в форме криков людей, показаны на рисунке 4.

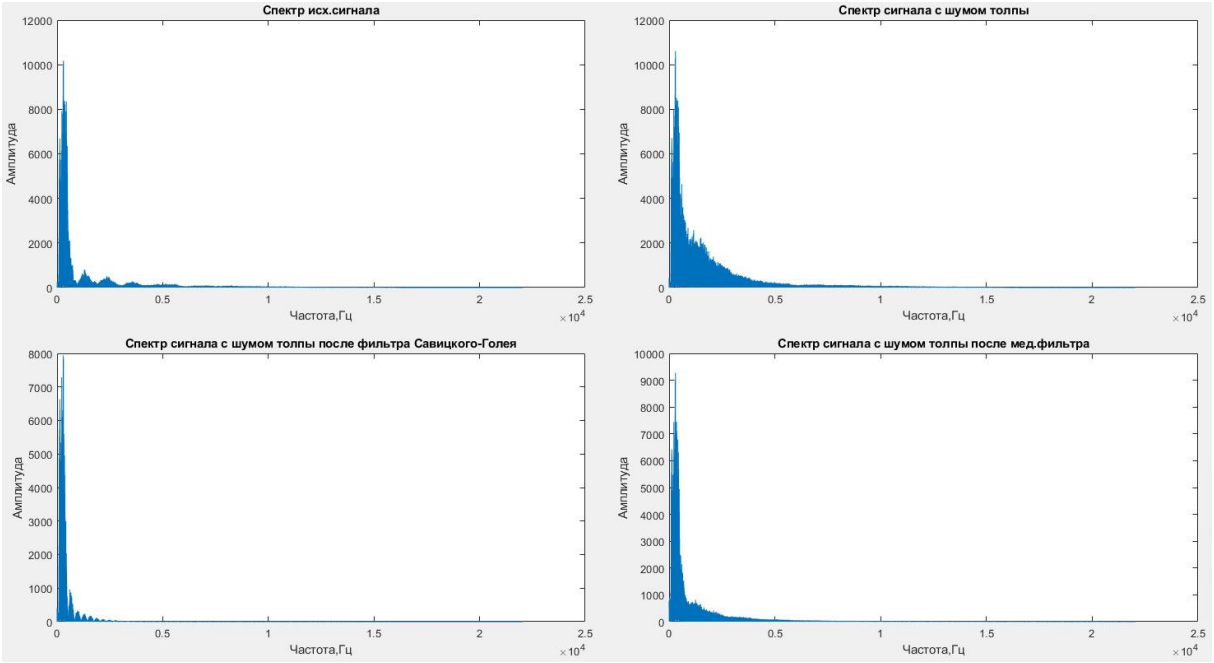


Рисунок 4 – Спектры сигнала для женского голоса с криками людей

Данная помеха, характеризуется резкими выбросами и значительно превышает мощность записей. Алгоритм надежной локальной регрессии эффективно справился с такими видом помехи, практически

полностью устранив ее, однако в процессе этого были потеряны некоторые высокочастотные данные. Тем не менее, четкость речи не пострадала. Фильтр низких частот успешно справился с устранением резких выбросов, сохраняя при этом низкочастотный шум, который не сильно влияет на восприятие речи. Метод медианного фильтра показал умеренные результаты, при которых сохранилось значительное количество данных, включая полезную информацию и шум, в отличие от ранее описанных алгоритмов. Экспоненциальное сглаживание, скользящее среднее и фильтр Савицкого-Голея предоставили схожие результаты среднего уровня эффективности, при этом потеряв высокочастотные данные. Однако, в отличие от первых двух методов, фильтр Савицкого-Голея также сохраняет высокоамплитудные низкочастотные компоненты.

Для количественной оценки эффективности алгоритмов сглаживания была использована основная метрика отношения сигнал/шум (SNR) определяемая формулой:

$$SNR = 10 * \log_{10}(\frac{sum(abs(signal).^2)}{sum(abs(noise).^2)} \quad (1)$$

Также использовались две дополнительных метрики: среднеквадратичная ошибка (MSE) и пиковое отношение сигнал/шум (PSNR). В таблице 1 приведены результаты значения SNR для всех алгоритмов и при исследовании вышеуказанных помех и шумов.

В результате можно выделить следующие особенности применения алгоритмов: экспоненциальное сглаживание и скользящее среднее имеют схожую эффективность, однако экспоненциальное сглаживание демонстрирует немного более высокую эффективность. В большинстве случаев оба алгоритма успешно справлялись с шумами на высоком и среднем уровнях. Фильтр нижних частот успешно удалял высокочастотные шумы, такие как крики людей, но показывал слабые результаты для других видов шума. Надежная локальная регрессия эффективно обрабатывала явно выраженные шумы, такие как пение птиц и крики людей, за счет незначительной потери высокочастотных данных, которые мало влияют на разборчивость речи. Однако с фоновыми шумами, такими как разговоры людей или звук автомобиля, этот алгоритм показывал слабые результаты. Фильтр Савицкого-Голея эффективно справлялся с фоновыми шумами, не сильно искажая данные. Медианный фильтр был эффективен для шумов, значительно превышающих уровень громкости речи или имеющих резкие выбросы, такие как крики людей и звуки автомобиля. Однако данный фильтр несколько искажает данные, что усложняет восприятие речи. Вейвлет-преобразование эффективно удаляло шумы с высокой амплитудой, такие как шум от компьютерного кулера, однако искажало данные, а при применении к другим видам шума наблюдается искажение речи или неэффективное удаление шума.

Таблица 1 – Результаты оценки эффективности по SNR, дб

Тип обработки	Пение птиц		Вентилятор компьютера		Проезжающая машина		Общающиеся люди		Крики людей	
	Муж	Жен	Муж	Жен	Муж	Жен	Муж	Жен	Муж	Жен
Исходный сигнал	-1.011	-4.109	-3.576	-9.49	-0.440	-2.433	-1.45	-5.69	-1.692	-6.19
Экспоненциальное сглаживание	1.399	3.675	2.132	-6.48	4.299	5.903	5.099	3.167	11.268	5.580
Фильтр нижних частот	1.395	1.221	-2.195	-8.06	1.258	1.191	1.037	-0.73	1.279	1.241
Медианный фильтр	1.112	1.085	-1.886	-8.22	2.595	3.096	0.883	-1.54	2.366	2.427
Скользящее среднее	2.015	2.256	-0.540	-7.56	5.352	3.436	2.657	1.319	10.539	8.695
Надежная локальная регрессия	0.284	-0.123	-2.991	-8.77	0.703	0.719	0.233	-2.46	0.816	0.441
Фильтр Савицкого-Голея	1.049	0.908	-1.361	-8.13	2.329	2.460	3.026	-0.44	1.549	1.533
Вейвлет-преобразование	1.525	-0.088	-3.146	-7.32	0.893	1.243	1.081	-0.86	0.829	-0.91

Таким образом, в рамках данного исследования были проанализированы алгоритмы сглаживания для различных видов помех и шумов. В заключение, можно сделать вывод, что наилучшим выбором для применения является алгоритм скользящего среднего. Он обладает высокой эффективностью, простотой реализации и невысоким требованием к вычислительным ресурсам по сравнению с экспоненциальным сглаживанием, которое демонстрирует немного более высокую эффективность. Кроме того, фильтр

Савицкого-Голея также представляет собой хороший вариант, так как успешно преодолевает наиболее часто распространенные шумы.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта «Протоколы, алгоритмы и программные структуры повышения производительности и помехозащищенности телекоммуникационных систем» при финансовой поддержке Российского научного фонда за счет гранта № 22-29-20174.

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. Белов А.А. Оценивание эффективности телекоммуникаций аудиообмена в условиях внешних акустических помех / А.А. Белов, А.А. Колпаков, Ю.А. Кропотов, А.Ю. Проскуряков // Системы управления, связи и безопасности. 2019. №1. С. 193-203.
4. 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.
5. Громоздин В.В. Имитация внешних акустических шумов при испытаниях качества громкоговорящей связи / В.В. Громоздин, Е.А. Надобенко, Т.В. Панина // 28-я Международная Крымская Конференция "Свч-Техника и Телекоммуникационные Технологии". Материалы конференции. – 2018. – С. 459-465.

СРАВНЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ 4-КАНАЛЬНОЙ ЦВМ В КАЧЕСТВЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО БОРТОВОГО КОМПЬЮТЕРА КА И ГРУППИРОВКИ КА С НЕРЕЗЕРВИРОВАННЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЯМИ

Ашарина И.В., Сипета Р.В., Сипета А.Ю.
АО "НИИ "Субмикрон"
+7 (916) 705-85-51, asharinairina@mail.ru

Выполняется расчет вероятности безотказной работы четырехкратно резервированного центрального бортового компьютера космического аппарата и орбитальной группировки малых космических аппаратов с нерезервированным вычислителем. Приводится сравнение надежностных характеристик резервированного центрального бортового компьютера космического аппарата и орбитальной группировки малых космических аппаратов с нерезервированным вычислителем, выполняющих задачу дистанционного зондирования Земли. Приведены достоинства и недостатки использования космического аппарата с резервированным вычислителем и группировки малых космических аппаратов с нерезервированными вычислителями.

Ключевые слова: сбое- и отказоустойчивость системы, статическая избыточность, динамическая избыточность, группировка космических аппаратов, надежность, вероятность безотказной работы.

Comparison of the reliability of a 4-channel digital computer as a central on-board computer and the groups of spacecraft with non-reserved calculators. Asharina I.V., Sipeta R.V., Sipeta A.Yu. Joint-Stock Company “Scientific Research Institute ‘Submicron’”.

The probability of trouble-free operation of the four-fold redundant central onboard computer of the spacecraft and the orbital grouping of small spacecraft with an unreserved computer is calculated. The reliability characteristics of the reserved central onboard computer of the spacecraft and the orbital grouping of small spacecraft with an unreserved computer performing the task of remote sensing of the Earth are compared. The advantages and disadvantages of using a spacecraft with a redundant computer and grouping small spacecraft with non-redundant computers are given.

Keywords: system failure- and fault-tolerance, static redundancy, dynamic redundancy, spacecraft group, reliability, probability of trouble-free operation.

Введение

Общими тенденциями развития космических аппаратов (КА) на текущий момент являются:

- все более расширяющееся применение платформ среднего и малого класса;
- построение кластерных орбитальных группировок из сверхмалых КА с взаимным

дополнением функциональных возможностей и положительными системными эффектами;

- формирование многоспутниковых группировок, обеспечивающих высокую периодичность и достоверность результатов наблюдений, оценки ситуации, принятия решений и выполнения требуемых действий.

Основное направление развития таких систем состоит в построении высокоадаптивной распределенной многомашинной информационно-управляющей системы (РМИУС) сетевой структуры.

Требуемые показатели надежности могут быть практически достигнуты путем реализации свойства сбое- и отказоустойчивости РМИУС. Использование в РМИУС традиционных методов статического мажорирования не обеспечивает в ряде случаев достижения длительных сроков активного существования (САС) при приемлемых или допустимых аппаратурных затратах, поскольку позволяет лишь маскировать неисправности, а не идентифицировать и устранять их, что приводит к накоплению латентных неисправностей с последующим катастрофическим отказом системы. Решить эту проблему позволяют методы динамического мажорирования, которые можно успешно реализовать на основе группировки нерезервированных космических аппаратов путем применения методов и алгоритмов из [1 - 4].

При этом необходимо учесть надежность резервированных КА, которые традиционно применяются в настоящее время.

Состав и основные характеристики 4-канальной ЦБК

В качестве объекта для сравнения применяется Центральный бортовой компьютер (ЦБК) – 4-канальная (4-кратно резервированная) ЦВМ (далее – Прибор), состоящая из 4 идентичных функциональных вычислительных модулей (ВМ) для осуществления высокого уровня отказоустойчивости модуля и выполняющая следующие функции:

- прием информации от бортовых систем по внешним интерфейсам,
- обработка принятой информации в соответствии с программами, хранящимися в перепрограммируемом запоминающем устройстве (ППЗУ) и оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ),
- выдача управляющей и диагностической информации по внешним интерфейсам.

Прибор осуществляет обмен информацией по шести каналам мультиплексного канала обмена (МКО) по ГОСТ Р 52070-2003.

В качестве принципа резервирования Прибора применяется динамическое резервирование на основе программно-аппаратного мажорирования и реконфигурации системы до двух ВМ в Приборе.

За управление конфигурацией/реконфигурацией отвечает контроллер управления конфигурации (КУК), основными функциями которого являются включение/выключение вторичных питающих напряжений в ВМ, назначение модуля ВМ ведущим на МКО, включение/выключение передачи по бортовым сетевым каналам передачи, перезапуск ВМ.

Отказом Прибора считается его невозможность выполнять штатное функционирование вследствие неспособности собственными средствами восстанавливать свою работоспособность после неисправности (сбой или отказ). Восстановление работоспособности сопровождается формированием доступной прикладной программе информации об обнаруженных сбоях и отказах, установленной конфигурации резерва и передачей управления на специальную прикладную программу пользователя.

Состав Прибора приведен на рисунке 1.

На рисунке1 обозначены: А1 – А4 – модуль ВМ ЦБК (далее по тексту – ВМ); А5 – модуль вторичного источника питания (ВИП) ЦБК (далее по тексту – ВИП); А6 – панель объединительная ЦБК; А7 – плата передней панели ЦБК.

Достоинства 4-канальной ЦБК

1) Отлаженные структура и технология, находящиеся в серийном производстве.
2) Применяется динамическое резервирование ВМ в различных сочетаниях в зависимости от целевых задач.
3) Размещение всех ВМ в одном корпусе, связь между ВМ организована по быстродействующим и достаточно надежным МКО.
4) Модель резервирования 4-канальной ЦБК представляет собой полный граф, вершинами которого являются ВМ, ребрами – каналы связи, т.е. структура оптимальная [1, 2, 5].

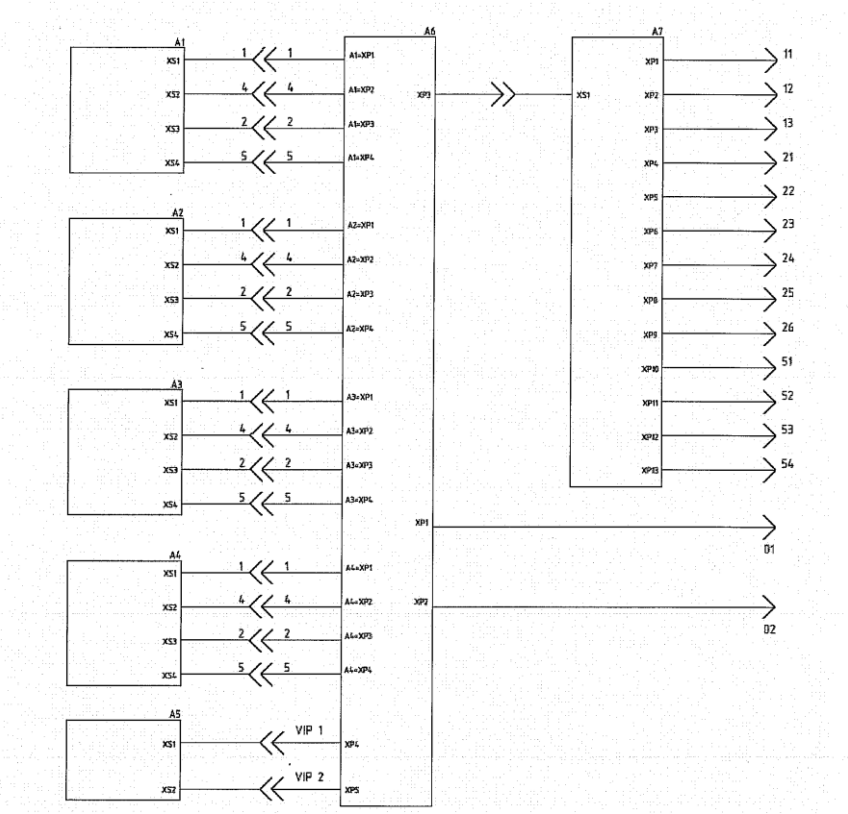


Рисунок 1 - Состав прибора ЦВМ1

Недостатки 4-канальной ЦБК

1) Большая и достаточно дорогостоящая конструкция космического аппарата (КА), потеря которого весьма ощутима, при этом вследствие размеров КА вероятность его повреждения космическим мусором или целенаправленными действиями существенно выше, чем КА меньших размеров.

2) Единый корпус КА, при повреждении которого или при нарушении общей системы электропитания отключатся все каналы ЦБК.

3) Относительно небольшая зона покрытия при решении задачи дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) или слежения за определенными наземными или околоземными объектами.

4) КУК состоит из микросхем, которые ухудшают надежность и увеличивают стоимость структуры ЦБК в целом.

5) Структура "монолитная", следовательно, не масштабируемая.

В качестве решения проблемы, обусловленной перечисленными недостатками и в соответствии с общими тенденциями развития КА предлагается разбить 4-канальную машину на несколько взаимосвязанных нерезервированных, каждая из которых располагается на отдельном КА малого класса. Организовать из них резервированный комплекс (орбитальную группировку (ОГ) КА), который будет работать как резервированная ЦБК, выполняя ту же задачу.

Достоинства предлагаемого решения

1) Потеря одного и даже нескольких малых КА (при достаточной мощности группировки) не представляет большой проблемы.

2) Запустить ОГ КА можно с помощью одной ракеты-носителя "кассетным" способом. Опыт таких запусков есть как у зарубежных, так и у отечественных предприятий – разработчиков КА.

3) Решение соответствует общей тенденции, ориентированной на миниатюризацию и удешевление КА.

4) Области покрытия при решении целевой задачи ДЗЗ либо мониторинга наземных или околоземных объектов могут перекрываться, следовательно, при потере части спутников выполнение целевой задачи гарантируется, может быть, с некоторой потерей качества.

5) Кратность резервирования при необходимости можно увеличить либо создать некоторый запас, находящийся в горячем резерве, т.к. такая структура легко поддается масштабированию.

6) Расчетная вероятность безотказной работы (ВБР) больше за счет отсутствия КУК, следовательно, меньшего количества электронной компонентной базы (ЭКБ), а также иной схемы резервирования.

Вычисление надежностных характеристик Прибора в четырехканальном исполнении

Исходными данными для проведения расчета надежности Прибора в соответствии с техническим заданием (ТЗ) являются: вероятность безотказной работы (ВБР) в течение 10000 часов должна быть не менее 0,996 в условиях эксплуатации по группе 5.3 ГОСТ РВ 20.39.304-98.

Расчет ВБР Прибора проводится с использованием структурного метода в соответствии с ГОСТ 27.301-95. Уровень разукрупнения Прибора по функционально-конструктивной сложности представляет собой четыре канала модуля ВИП и связанный с каждым каналом модуль ВМ.

Два канала модуля ВИП и соответствующие им два модуля ВМ находятся в постоянно нагруженном режиме. Третий канал модуля ВИП со своим модулем ВМ находится в нагруженном резерве, четвертый канал модуля ВИП со своим модулем ВМ находится в ненагруженном резерве. Все четыре канала модуля ВИП идентичны по составу. Все четыре модуля ВМ идентичны по своему составу. Прибор может работать на двух каналах модуля ВИП и соответствующих двух модулях ВМ. Структурная схема надежности (ССН) при работе на различных этапах представлена на рисунках 2 и 3.

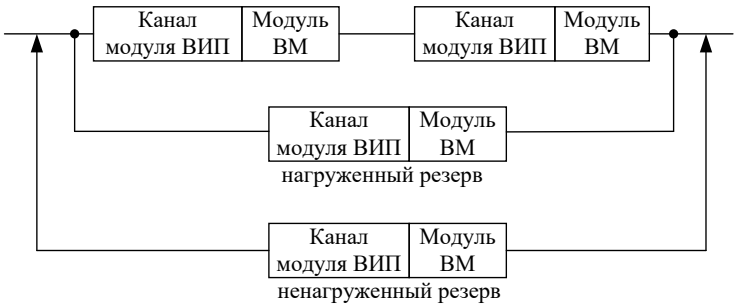


Рисунок 2 – Схема работы Прибора на первом этапе

При появлении первого отказа включается ненагруженный резерв и начинается этап 2. На втором этапе нагруженный резерв участвует в работе, но отказом Прибора считается, когда работоспособным остается один канал модуля ВИП и соответствующий ему модуль ВМ.

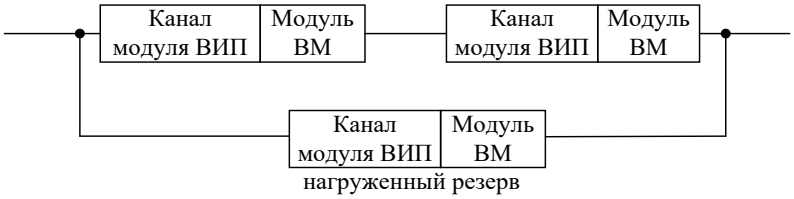


Рисунок 3 – Схема работы Прибора на втором этапе

Для получения расчетной формулы ВБР Прибора в режиме эксплуатации были приняты следующие допущения в соответствии с ОСТ 4Г 0.012.242-84:

- резервные модули (каналы) до замещения отказавшего основного безотказны (вероятность обнаружения отказа 100%);
- время переключения на резерв пренебрежимо мало (обеспечивается непрерывное нормальное функционирование Прибора);
- отказы считаются независимыми случайными событиями;
- время между моментами отказов элементов подчиняется экспоненциальному закону;
- общее (системное) программное обеспечение (ОПО) считается отработанным во всех необходимых режимах, при расчете показателей надежности не учитывается и на ССН не отражается (ВБР ОПО равна 1). Качественный анализ ОПО проводится отдельно.

ВБР Прибора в режиме эксплуатации рассчитывается по формуле:

$$\mathrm{P_{ЦВМ1}} = \mathrm{P_0^3} + 9 \cdot \mathrm{P_0^2} \cdot (1 - \mathrm{P_0}) + 6 \cdot \mathrm{P_0^3} \cdot ln\, P_0, \quad (1)$$

где P_0 – ВБР одного канала модуля ВИП и соответствующего модуля ВМ в режиме эксплуатации, определяемая по формуле

$$P_0 = \exp(-\lambda_K \cdot t \cdot K_a), \quad (2)$$

где exp – экспоненциальная функция;

t – время работы Прибора;

K_a= 0,2 – коэффициент качества аппаратуры, определенный в справочнике [6].

λ_K – суммарная интенсивность отказов элементов ЭКБ, печатных плат и паек, входящих в канал модуля ВИП и соответствующий модуль ВМ в режиме эксплуатации, определяемая по формуле

$$\lambda_K = \lambda_{ВИП} + \lambda_{ВМ} + \lambda_{Панель} + \lambda_{Плата}, \quad (3)$$

$\lambda_{ВИП}$ – расчетная интенсивность отказов одного канала модуля ВИП, питающего один модуль ВМ;

$\lambda_{ВМ}$ – расчетная интенсивность отказов модуля ВМ;

$\lambda_{Панель}$ – расчетная интенсивность отказов элементов ЭКБ, которые относятся к панели объединительной;

$\lambda_{Плата}$ – расчетная интенсивность отказов элементов ЭКБ, которые относятся к плате передней панели.

Интенсивности отказов (λ) каждого элемента ЭКБ отечественного производства (ОП) определялись по базовым значениям и моделям справочника [6]. Интенсивности отказов ЭКБ иностранного производства (ИП) определялись по справочнику [7].

В Таблице 1 представлена расчетная интенсивность отказов Прибора.

Таблица 1 - Расчетная интенсивность отказов Прибора

Наименование	Кол, *n* шт.	$\lambda_б \cdot 10^{-7}$, 1/ч	$\lambda_э \cdot 10^{-7}$, 1/ч	$\lambda_э \cdot 10^{-7} \cdot n$, 1/ч	Позиционное обозначение
Панель объединительная ЦВМ1	1	-	137,194	137,194	А6
Плата передней панели ЦВМ1	1	-	36,219	36,219	А7
Модуль ВМ ЦВМ1	4	-	460,846	1843,384	А1-А4
Модуль ВИП ЦВМ1	1	-	233,235	233,235	А5

Расчетная интенсивность отказов Прибора составляет $2250{,}032 \cdot 10^{-7}$ 1/ч. Расчетное значение ВБР Прибора расчитанное по формуле (1) составляет 0,996 в условиях эксплуатации по группе 5.3 по ГОСТ РВ 20.39.304-98 в течение 10000 часов, что соответствует требованиям ТЗ.

Вычисление надежностных характеристик Прибора одноканального исполнения

ВБР Прибора одноканального исполнения (один модуль ВМ) в режиме эксплуатации рассчитывается по формуле:

$$P_0 = \exp(-\lambda_K \cdot t \cdot K_a), \quad (4)$$

где exp – экспоненциальная функция;

t – время работы Прибора одноканального исполнения;

K_a= 0,2 – коэффициент качества аппаратуры, определенный в справочнике [6].

λ_K – суммарная интенсивность отказов элементов ЭКБ, печатных плат и паек, входящих в Прибор одноканального исполнения расчитываетя по формуле (3) с учетом исключения элементов, обеспечивающих управление резервированием модуля ВМ, трех каналов ВИП, а также Панели объединительной (А6), обеспечивающих переключение между модулями ВМ при организации резерва Прибора четырехканального исполнения.

В таблице 2 представлена расчетная интенсивность отказов Прибора одноканального исполнения.

Таблица 2 - Прибор одноканального исполнения

Наименование	Кол, *n* шт.	$\lambda_б \cdot 10^{-7}$, 1/ч	$\lambda_э \cdot 10^{-7}$, 1/ч	$\lambda_э \cdot 10^{-7} \cdot n$, 1/ч	Позиционное обозначение
Плата передней панели ЦВМ ЦВМ1	1	-	36,219	36,219	А7
Модуль ВМ ЦВМ1	1	-	441,258	441,258	А1
Модуль ВИП ЦВМ1	1	-	65,570	65,570	А5

Расчетная интенсивность отказов Прибора одноканального исполнения составляет $506{,}829 \cdot 10^{-7}$ 1/ч. Расчетное значение ВБР Прибора расчитанное по формуле (4) составляет 0,9036 в условиях эксплуатации по группе 5.3 по ГОСТ РВ 20.39.304-98 в течение 10000 часов.

Сравнение надежностных характеристик Прибора в классическом исполнении с резервом в составе (модификация 1) и Прибора в одноканальном исполнении (модификация 2) возможно при анализе

ВБР группировки, обеспечивающей выполнение задач мониторинга земной поверхности над одним участком.

В минимальной конфигурации данная группировка может быть организована из трех Приборов модификации 1 либо из 9 Приборов модификации 2. При этом для выполнения поставленной задачи Приборы модификации 1 должны функционировать независимо, а Приборы модификации 2 объединены в единую пиринговую сеть, т.е. построенную в соответствии с принципами ($p2p$) (рисунок 4). В сети, представленной на рисунке 4, Приборы модификации 2 с номерами 1 – 6 работают постоянно, с номерами 7 – 9 находятся в горячем резерве так, что каждый из них может заменить отказавший рабочий ВМ (Прибор модификации 2). При этом каналы связи между всеми приборами, как работающими, так и находящимися в горячем резерве, должны обеспечивать возможность межмашинного сбое- и отказоустойчивого информационного обмена. Кроме того, резервные приборы должны иметь возможность участвовать в процессе взаимного информационного согласования или служить ретрансляторами при межмашинном информационном обмене [3].

ВБР группировки модификации 1 рассчитывается по формуле

$$P_{M1} = P_1^3, \quad (5)$$

где P_1 – ВБР Прибора модификации 1, рассчитанная по формуле (1).

ВБР группировки модификации 2 рассчитывается по формуле

$$P_{M2} = P_2^6 \cdot (-56 \cdot P_2^3 + 189 \cdot P_2^2 - 216 \cdot P_2 + 84), \quad (6)$$

где P_2 – ВБР Прибора модификации 2, рассчитанная по формуле (4).

Расчетное значение ВБР Приборов в условиях эксплуатации по группе 5.3 по ГОСТ РВ 20.39.304-98 в течение 10000 часов, расчитанное по формулам (5) и (6) составляет 0,988 для модификации 1 и 0,9927 для модификации 2.

В процессе организации ОГ КА возникают следующие сложности:

1) Организация каналов связи между КА в группировке.
2) Недостаточная мощность приемно-передающих устройств либо возможная потеря видимости КА, что требует наличия ретрансляторов.

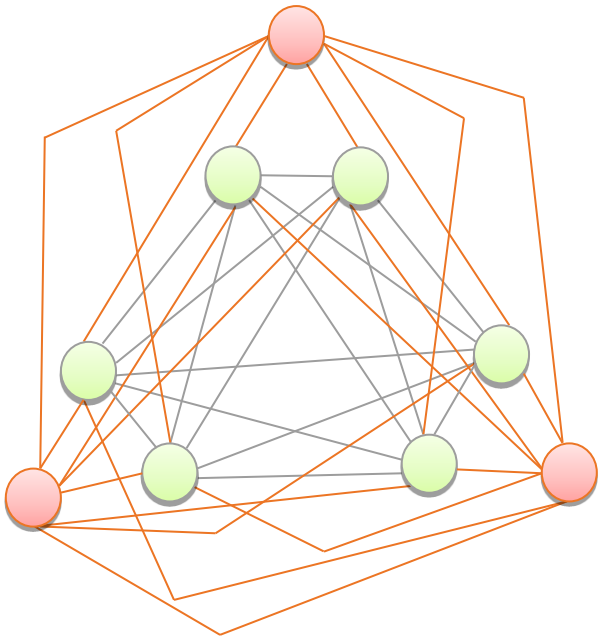


Рисунок 4 - Минимальная конфигурация орбитальной группировки Приборов модификации 2

Заключение

Как показывают расчеты, для выполнения целевой задачи при заданных надежностных характеристиках группировки из трех КА с ЦБК «классическом» исполнении (Прибор модификации 1 в составе: 2 рабочих ВМ, горячий резерв, холодный резерв) достаточно группировки КА с нерезервированными ЦБК, организованной по предложенным в [1 - 3] алгоритмам и состоящей из 6 рабочих КА и 3 КА в горячем резерве.

Это стало возможным за счет исключения из конструкции Прибора, на основе которого строится ЦБК, элементов и объединительной платы, отвечающих за переключение (резервирование) каналов, а

также применение иной системы резервирования модулей ВМ. В расчете не учтено сокращение печатной платы и объемов монтажа (необходима переразводка платы), что дополнительно приведет к сокращению интенсивности отказов и, как следствие, увеличению ВБР группировки.

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. Ашарина И.В. Распределенный алгоритм системного взаимного информационного согласования в многокомплексных вычислительных системах // Образовательные ресурсы и технологии (Вестник московского университета им. С.Ю. Витте), Москва, 2014 г., №2(5), стр. 45-50, ISSN онлайновой версии 2312-5500.
4. Лобанов А.В., Ашарина И.В, Гришин В.Ю., Сиренко В.Г. Макетный образец высокоадаптивной распределенной сетецентрической многокомплексной сбое- и отказоустойчивой управляющей системы – актуальная проблема // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 1. С. 48–55.
5. Нефедов В.Н., Осипова В.А. Курс дискретной математики. Уч. пос. М.: Изд-во МАИ, 1992, 263 с.
6. «Надежность электрорадиоизделий», М., 22 ЦНИИ МО РФ, 2006.
7. Справочник. «Надежность ЭРИ ИП», 2006.

ИННОВАЦИОННЫЙ МИКРОКОНТРОЛЛЕР ESP-32: ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ К ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В РАЗНЫХ ОТРАСЛЯХ

Зайцев В.Е., Кильметов Р.А., Иванов М.В., Галиев Р.Д.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
+7 (917) 472-52-78, vadim.zaitzew2014@yandex.ru

Статья посвящена применению микроконтроллера ESP-32 в различных сферах деятельности, включая робототехнику, БПЛА, системы автоматизации и управления и другие. Описывается устройство и принцип работы микроконтроллера, а также его основные возможности. Особое внимание уделяется применению ESP-32 в системах управления БПЛА и описываются примеры проектов в данной области. Также рассматривается возможность использования микроконтроллера в других областях и перспективы его развития. Статья предназначена для специалистов в области разработки и проектирования техники, а также для всех, интересующихся новыми технологиями в области автоматизации и управления.

Ключевые слова: микроконтроллер ESP-32, Wi-Fi, Bluetooth и BLE-модули, IoT-проекты, БПЛА, управление.

Innovative esp-32 microcontroller: from performance to efficiency application in different industries.
V.E. Zaitsev, Kilmetov R.A., M.V. Ivanov, R.D. Galiev

This scientific article is devoted to the application of the ESP-32 microcontroller in various fields of activity, including robotics, UAVs, automation and control systems, and others. The device and the principle of operation of the microcontroller, as well as its main features, are described. Particular attention is paid to the use of ESP-32 in UAV control systems and describes examples of projects in this area. The possibility of using the microcontroller in other areas and the prospects for its development are also being considered. The article is intended for specialists in the field of engineering development and design, as well as for anyone interested in new technologies in the field of automation and control.

Keywords: ISP-32 microcontroller, Wi-Fi, Bluetooth and BLU-modules, It projects, UAV, management.

Введение

В последние годы промышленность и технологии стремительно развиваются, и, в связи с этим появляется все больше новых инновационных устройств, которые используются в самых различных областях. Одним из таких устройств является микроконтроллер ESP-32, который представляет собой мощный инструмент для разработки электронных устройств с подключением к Интернету. ESP-32 позволяет создавать надежные и высокофункциональные устройства с использованием встроенных модулей связи, таких как Wi-Fi, Bluetooth и BLE. В данной статье мы рассмотрим аппаратную архитектуру

и производительность ESP-32, особенности программирования на нем, а также применение в таких областях, как IoT, системы автоматизации и управления, робототехника, аграрная сфера и МЧС.

Микроконтроллеры — это компактные интегральные схемы, которые сочетают в себе процессор, память и периферийные устройства, необходимые для управления электронными устройствами. Использование микроконтроллеров в различных приложениях обеспечивает более высокую эффективность и экономию ресурсов по сравнению с традиционными электронными компонентами.

Одним из наиболее популярных микроконтроллеров сегодня является ESP-32, разработанный компанией Espressif Systems. Этот микроконтроллер имеет множество преимуществ перед другими микроконтроллерами, такими как Wi-Fi, Bluetooth и BLE-модули, высокую производительность, поддержку различных языков программирования, множество периферийных устройств и т.д.

ESP-32 также известен своей низкой стоимостью и доступностью для разработчиков и энтузиастов. Это привело к тому, что ESP-32 стал популярным среди сообщества разработчиков, производителей IoT-устройств, автоматизации и управления, робототехники и других областей.

По мере роста популярности микроконтроллеров, в том числе и ESP-32, появляются новые проекты и приложения. Многие разработчики используют ESP-32 для создания собственных устройств, домашних автоматизации, систем мониторинга и управления, дронов, игрушек, проектов мультимедиа и т.д.

Благодаря широким возможностям и доступности, ESP-32 продолжает привлекать новых пользователей и сообщества разработчиков. С ростом интереса к микроконтроллерам и их применению, мы можем ожидать дальнейшего развития и инноваций в этой области.

Обзор технических характеристик ESP-32

ESP-32 включает в себя двухъядерный (или одноядерный) 32-разрядный процессор, с тактовой частотой 160 или 240 МГц и производительностью до 600 DMIPS. ESP-32 также имеет 520 Кбайт памяти SRAM и 4 Мбайт флэш-памяти, которая может быть расширена с помощью внешних SPI-флеш-накопителей.

ESP-32 поддерживает различные интерфейсы, включая SPI, I2C, UART, Ethernet, CAN, USB, SDIO, PCM и другие, что делает его универсальным для многих приложений.

Одно из основных преимуществ ESP-32 — это встроенные модули связи Wi-Fi, Bluetooth и BLE (Bluetooth Low Energy). Wi-Fi модуль поддерживает режим работы 802.11b/g/n,

2.4 ГГц и имеет встроенную антенну. Это делает ESP-32 идеальным выбором для проектов Интернета вещей (IoT), которые требуют беспроводного подключения к Интернету.

Bluetooth и BLE модули позволяют ESP-32 взаимодействовать с другими устройствами, такими как смартфоны, наушники, клавиатуры и др. Поддержка BLE делает ESP-32 подходящим для приложений, требующих малый уровень энергопотребления, таких как датчики и измерительные устройства.

ESP-32 поддерживает несколько языков программирования, включая C++, Python, JavaScript и Lua. Один из основных фреймворков для программирования ESP-32 — это Arduino IDE. Он позволяет быстро и легко создавать проекты, используя множество библиотек и примеров кода. Arduino IDE также обеспечивает поддержку отладки и серийную связь с ESP-32.

Существует множество IDE (Integrated Development Environment) для программирования ESP-32, включая Arduino IDE, Visual Studio Code, Eclipse и другие. Каждый из этих IDE имеет свои особенности и возможности, такие как поддержка отладки, автоматическое завершение кода, интеграция с гит-репозиториями и др.

ESP-32 также поддерживает OTA (Over-The-Air) обновления, что позволяет обновлять код устройства без необходимости физического подключения к компьютеру. Это удобно, когда устройство находится в отдаленном месте или недоступно для физического подключения.

Еще один популярный фреймворк для ESP-32 — это ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework). Он обеспечивает доступ к низкоуровневым функциям микроконтроллера, что позволяет разработчикам создавать более сложные проекты. ESP-IDF поддерживает инструменты для отладки, профилирования и тестирования кода.

Существует несколько разновидностей микроконтроллера ESP-32, которые могут отличаться относительно производительности, памяти, интерфейсов и других характеристик.

Рассмотрим некоторые из них:

1. ESP32-WROOM: это один из наиболее распространенных модулей микроконтроллера ESP-32, который имеет встроенные антенны Wi-Fi и Bluetooth, а также разъемы для внешней антенны. В некоторых вариантах также могут быть доступны дополнительные интерфейсы, такие как Ethernet или LoRa.
2. ESP32-S2: это новый чип ESP-32, который разработан с учетом уменьшения стоимости и расхода энергии. Он имеет только интерфейсы Wi-Fi (без Bluetooth), но вместо этого имеет более низкий потребляемый ток и поддерживает более быстрый USB-интерфейс.

3. ESP32-C3: это еще один новый чип ESP-32, который имеет более простую архитектуру и меньший размер, чем оригинальный ESP-32. Он также имеет встроенные интерфейсы Wi-Fi и Bluetooth, а также поддерживает USB-интерфейс и интерфейсы GPIO.

4. ESP32-PICO: это миниатюрный модуль, содержащий ESP-32 и некоторые дополнительные компоненты, такие как кварцевый генератор и Flash-память. Он может быть удобен для интеграции в более крупные проекты, где размер является критическим параметром.

5. Модуль ESP32-CAM содержит в своем составе чип ESP32-S, очень маленького размера камеру OV2640 и слот для карт памяти формата micro SD, на которых можно хранить снимки с камеры и различные файлы.

6. Кроме того, существуют и другие разновидности микроконтроллера ESP-32, такие как ESP32-Solo, ESP32-DevKitC и т. д. Каждый из них имеет свои уникальные характеристики и может быть выбран в зависимости от требований проекта. [1],[2],[7]

Применение ESP-32 в IoT-проектах

Один из наиболее распространенных способов использования ESP-32 в IoT-проектах — это создание устройств умного дома.

1. Например, можно создать умную лампу, которая может управляться через приложение на смартфоне, или устройство для управления отоплением и кондиционированием воздуха в доме.

2. Другой пример — это создание устройства для мониторинга и управления здоровьем. С помощью ESP-32 можно создать устройство, которое собирает данные о пульсе, давлении и других показателях здоровья, и отправляет их на сервер для анализа и отслеживания.

3. Еще один пример — это создание устройства для мониторинга окружающей среды. ESP-32 можно использовать для сбора данных о температуре, влажности, давлении и других параметрах окружающей среды, и отправлять их на сервер для анализа и принятия решений.

4. Кроме того, ESP-32 может использоваться в проектах умного сельского хозяйства для мониторинга и управления выращиванием растений, в проектах управления транспортом, и в других проектах, требующих связи с интернетом и другими устройствами.

5. ESP-32 обеспечивает стабильную связь с интернетом и другими устройствами, что делает его удобным для разработки сложных и инновационных проектов IoT. [3]

Применение ESP-32 в системах автоматизации и управления

1. ESP-32 может играть важную роль в разработке таких систем благодаря своей производительности и возможностям связи. ESP-32 может использоваться для управления и мониторинга различных процессов и устройств, таких как приводы, насосы, вентиляторы и другие устройства.

2. Примеры проектов с использованием ESP-32 в системах автоматизации и управления включают автоматизацию и управление системами освещения, системами кондиционирования воздуха и отопления, системами контроля доступа, системами мониторинга качества воздуха и воды, а также системами управления складами и производственными линиями.

3. Например, можно создать систему автоматизации и управления для управления светом в офисном здании. С помощью ESP-32 можно управлять яркостью и цветом света в разных зонах, а также создавать графики и сценарии для автоматического управления освещением в зависимости от времени суток и присутствия людей. [3],[4]

Применение ESP-32 в проектах робототехники

Роль ESP-32 в разработке роботов состоит в том, чтобы предоставить мощный и гибкий инструментарий для управления роботами. ESP-32 может использоваться для управления моторами, датчиками, светодиодами и другими компонентами робота. Благодаря встроенным модулям Wi-Fi и Bluetooth, ESP-32 может также использоваться для связи с другими устройствами и сетями, что делает его идеальным для управления роботами в режиме реального времени.

Ниже приведены примеры проектов, которые могут быть реализованы с использованием ESP-32 в робототехнике:

1. Мобильный робот-пылесос: Этот проект использует ESP-32 для управления моторами, датчиками и встроенной камерой. Робот-пылесос может перемещаться по комнате, очищать пол и перехватывать видеопоток с камеры.

2. Робот-манипулятор: Этот проект использует ESP-32 для управления моторами, которые двигают роботические руки. Робот может использоваться для выполнения простых задач, таких как сортировка предметов или управление инструментами.

ESP-32 предоставляет робототехникам мощный и гибкий инструментарий для управления роботами. Это позволяет разработчикам создавать роботов, которые могут выполнять разнообразные задачи в различных областях. [3],[4]

Применение ESP-32 в проектах БПЛА

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) — это летательные устройства, которые могут управляться без участия человека на борту. Они используются в различных областях, таких как гражданская авиация, военная оборона, мониторинг сельского хозяйства и т.д.

Ниже приведены примеры проектов в различных областях, которые могут быть реализованы с использованием ESP-32 в БПЛА:

1. Одной из областей, в которой активно применяются БПЛА в геодезии, является кадастровый учет и картография. БПЛА могут использоваться для создания точных и детальных карт, которые могут использоваться для учета земельных участков, планирования городской застройки и других целей.
2. БПЛА также могут использоваться для создания высотных моделей рельефа (ДМР) с высокой точностью и разрешением. Это особенно полезно для проведения различных геодезических изысканий, таких как обследование зданий и сооружений, построение трасс дорог и других объектов инфраструктуры.
3. Одним из наиболее распространенных применений БПЛА в аграрной сфере является анализ и мониторинг состояния посевов. БПЛА оснащены высокоточными камерами, которые могут собирать информацию о состоянии растительности, включая ее рост, плотность и здоровье. Эта информация может использоваться для принятия решений о том, когда следует производить полив, удобрение и другие агротехнические мероприятия.
4. БПЛА также могут использоваться для контроля за заболеваниями и вредителями. Камеры, установленные на БПЛА, могут обнаруживать признаки поражения растений, такие как увядание и изменения цвета. Это позволяет быстро выявлять проблемы и принимать меры для их устранения.
5. Применение БПЛА в МЧС позволяет получить дополнительные возможности для мониторинга и контроля за объектами, прогнозирования развития аварийных ситуаций и координации действий служб спасения. БПЛА могут быть оснащены камерами и другими датчиками, которые позволяют получать информацию о пожарах, землетрясениях, наводнениях, оползнях и других катастрофических событиях. [3],[4]

Примеры применения БПЛА в МЧС:

1. Определение места возгорания и интенсивности пожара с помощью инфракрасной камеры;
2. Мониторинг зон риска природных катастроф (наводнений, оползней, лесных пожаров);
3. Разведка местности для определения оптимальных маршрутов движения спасательных групп и выбора места для высадки спасателей;
4. Оценка степени разрушения зданий и сооружений после землетрясений, взрывов и других катастрофических событий;
5. Доставка медикаментов и других необходимых материалов на труднодоступные участки.

Микроконтроллеры, такие как ESP-32, играют важную роль в разработке БПЛА, так как они предоставляют необходимые возможности для управления моторами, датчиками и другими компонентами установленными на борту БПЛА.

Благодаря встроенным модулям Wi-Fi и Bluetooth, ESP-32 может также использоваться для связи с другими устройствами и сетями, что делает его идеальным для управления БПЛА в режиме реального времени.

Заключение

Подводя итог, можно отметить, что ESP-32 является мощным и гибким микроконтроллером, который находит широкое применение в различных областях, включая IoT, системы автоматизации и управления, робототехнику, БПЛА и другие. В статье была рассмотрена аппаратная архитектура и производительность ESP-32, встроенные модули связи (Wi-Fi, Bluetooth, BLE), особенности программирования и примеры проектов с использованием ESP-32 в каждой из указанных областей.

Обсуждение возможностей и перспектив развития использования ESP-32 показывает, что этот микроконтроллер имеет большой потенциал для дальнейшего улучшения и расширения функциональности. Будущее развитие ESP-32 может быть связано с улучшением энергоэффективности, повышением скорости и производительности, расширением возможностей коммуникаций и дальнейшим улучшением программного обеспечения.

В будущих работах авторов будет более подробно рассматриваться применение микроконтроллера ESP-32 на беспилотных летательных аппаратах, в том числе применение ESP-32 как основного вычислительного модуля.

Литература

1. Официальный сайт ESP32 // espressif URL: https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32 (дата обращения: 02.07.2023).

2. Документация и руководства по ESP32 // ESP-IDF Programming Guide URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/index.html (дата обращения: 03.07.2023).
3. Примеры проектов на ESP32 // github URL: https://github.com/espressif/esp-idf/tree/master/examples (дата обращения: 07.07.2023).
4. Сообщество разработчиков ESP32 на форуме Espressif // esp32 URL: https://www.esp32.com (дата обращения: 08.07.2023).
5. Программирование устройств на основе модуля ESP32 // ХАБР URL: https://habr.com/ru/company/epam_systems/blog/522730/ (дата обращения: 08.07.2023).
6. Знакомство с контроллером ESP32 // narodstream URL: https://narodstream.ru/esp32-urok-1-pervoe-znakomstvo-s-kontrollerom-esp32/ (дата обращения: 10.07.2023).
7. ESP32 Series Datasheet // make.net.za URL: https://make.net.za/wp content/datasheets/ESP32%20Series%20Datasheet.pdf (дата обращения: 20.07.2023).

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Горлов Н.И., Шайгараева Т.Н.*
*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики
+7 (913)- 905-85-40 gorlovnik@yandex.ru

Аннотация: Доклад посвящен мониторингу структурного состояния нескольких сооружений с различной геометрией, материалами и поведением с использованием волоконно-оптических датчиков. Эти исследования были направлены на то, чтобы продемонстрировать осуществимость таких технологий в мониторинге состояния конструкций со всеми преимуществами, присущими волоконно-оптической технологии.
Ключевые слова: мониторинг состояния конструкций, оптическое волокно, оптические датчики.

Monitoring the condition of structures of various geometriesusing fiber-optic sensors. Gorlov N.I., Shaigaraeva T.N. * Siberian State University of Telecommunications and Informatics.
Abstract: The report is devoted to monitoring the structural condition of several structures with different geometries, materials and behavior using fiber optic sensors. These studies were aimed at demonstrating the feasibility of such technologies in monitoring the condition of structures with all the advantages inherent in fiber-optic technology.
Keywords: Structural condition monitoring, optical fiber, optical sensors.

Введение

Здания, мосты, плотины, башни и туннели, наряду со многими другими сооружениями, являются очень сложными инженерными сооружениями и имеют решающее значение для процветания современного общества. Однако они часто подвергаются серьезным воздействиям окружающей среды и/или техногенных факторов и резким нагрузкам, приводящим к разрушению конструкции. Обеспечение безопасности, долговечности и оптимизация затрат на техническое обслуживание являются приоритетными задачами. При этом используются преимущества сенсорных технологий для выявления структурных повреждений и корректировки стратегий технического обслуживания. Мониторинг структурного состояния отслеживает состояние работоспособности конструкции, объединяя датчики и схемы мониторинга с системами обнаружения повреждений, чтобы обеспечить безопасность и долговечность [1].

Целью систем мониторинга является контроль эксплуатационных характеристик конструкции на месте в течение заданного короткого промежутка времени или в течение срока службы конструкции при различных условиях нагрузки. На основе результатов мониторинга разрабатывается стратегия технической эксплуатации. В любом случае, предупредительная оценка может преждевременно выявлять проблемы и давать рекомендации по их решению.

В общем случае системы мониторинга обычно состоит из преобразовательного устройства, канала связи и подсистемы формирования и/или обнаружения, обработки и формирования сигнала, причем все они могут быть как интегрированными, так и нет.

По пространственному распределению измеряемой величины волоконно-оптические датчики можно классифицировать как:

1) *Точечный*, когда измерение производится в дискретных точках, доступ к которым осуществляется по разным каналам. При этом каждый датчик определяет только одну точку.

2) *Интегральный*, когда измерение интегрируется из всех значений распределенного объекта,

вносящих свой вклад, в одно результирующее значение.

3) *Квазираспределенные*, обладают способностью измерять значение состояния переменной в дискретных точках пространства, расположенных в одном оптическом канале.

4) *Распределенные*, когда они могут измерять значение состояния измеряемой величины вдоль измеряемой линии пространства заданным пространственным разрешением. Это датчики, позволяют определять значение распределенног объекта непрерывно в каждой точке пространства. Они определяют как уровень с определенной точностью и прецизионностью, так и пространственное положение с определенным пространственным разрешением, то есть они позволяют осуществлять "*пространственное отображение*" зондируемого объекта.

Среди множества сенсорных технологий волоконно-оптические датчики на принципе рассеяния Бриллюэна являются одними из наиболее перспективных для систем мониторинга. Использование таких устройств в системах мониторинга значительно возросло благодаря их преимущества перед обычными электронными решениями. Компактный размер, высокая чувствительность, хорошая линейность, устойчивость к электромагнитным полям, электрическая изоляция, устойчивость к агрессивным средам и возможность встраивания в конструкции - вот некоторые из преимуществ.

Принцип мониторинга

Методы распределенного зондирования обычно основаны на оптической рефлектометрии во временной области, при которой оптические импульсы запускаются в оптическое волокно, а изменения интенсивности обратного рассеяния, вызванные измеряемым веществом, регистрируются как функция времени. Рамановский подход очень практичен, поскольку в качестве датчика можно использовать обычное оптическое волокно на основе кремния. Антистоксово-Рамановское рассеянное излучение примерно на 30 дБ слабее, чем релеевского обратно рассеянного света. Однако, его чувствительность к температуре велика. Поэтому системы, основанные на комбинационном рассеянии, были коммерчески реализованы несколькими производителями.

В данном докладе описывается другой класс технологий, использующих бриллюэновское рассеяние и позволяющих измерять распределенную деформацию, а также температуру [2]. Бриллюэновское рассеяние примерно на 20 дБ слабее рэлеевского рассеяния, но бриллюэновское рассеяние может быть усилено за счет процесса стимулированного бриллюэновского рассеяния. При бриллюэновском рассеянии неупруго рассеянный свет сталкивается с акустическими фононами и при столкновении претерпевает сдвиг частоты. Бриллюэновский сдвиг частоты становится максимальным при обратном рассеянии света и определяется по формуле:

$$\nu_B = 2nV_a/\lambda, \tag{1}$$

где n - показатель преломления, Va - скорость звука, λ - длина волны света.

При использовании n=1,46, U=5945 млс для кварцевого стекла и λ=1,32 мкм для (1) получается ν_B=13,2 ГГц. Установлено, что бриллюэновский сдвиг частоты линейно возрастает с увеличением деформации и температуры:

$$\nu_B(\varepsilon) = \nu_B(0)[1 + C_B\varepsilon], \tag{2}$$

$$\nu_B(t) = \nu_B(t_T)[1 + C_t(t - t_T)] \quad . \tag{3}$$

Эффект Бриллюэна чувствителен к изменениям температуры (T) и деформации (ε) путем изменения частоты Бриллюэна ν_B, а также ее интенсивности I_B, которая является следующим матричным выражением:

$$\begin{bmatrix}\Delta\nu_B \\ \Delta I_B\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}C_{\nu B}^{\epsilon} & C_{VB}^{T} \\ C_{IB}^{\epsilon} & C_{IB}^{T}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta\varepsilon \\ \Delta T\end{bmatrix}. \tag{4}$$

Для данного типа волокна и заданной длины волны определены коэффициенты, связанные с изменением температуры и деформации. Значения этих коэффициентов для типичного волокна с легированной сердцевиной GeO_2 представлены ниже:

$$\begin{bmatrix}C_{\nu B}^{\epsilon} & C_{VB}^{T} \\ C_{IB}^{\epsilon} & C_{IB}^{T}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0{,}046\ \text{MHz}/\mu\varepsilon & 1{,}07\ \text{MHz/K} \\ -8,10^{-4}\ \ \%/\varepsilon & 0{,}36\ \ \%/\text{K}\end{bmatrix}. \tag{5}$$

Одновременное измерение ν_B и I_B позволяет решить (1) и, следовательно, различать влияние деформации или температуры. Однако измерение I_B искажается потерями в волокне, которые могут быть интерпретированы как температурные колебания.

В связи с этим было предложено использовать отношение Ландау-Плачека, зависящее только от температуры, которое соответствует отношению измерения интенсивности релеевского обратного

рассеяния I_R к измерению интенсивности бриллюэновского рассеяния I_B и определяется уравнением:

$$R_{Lp} = \frac{I_R}{I_B} = \frac{T_f}{T}(\rho_0 V_A^2 \beta_T - 1). \quad (6)$$

Таким образом, одновременное и синхронное измерение рэлеевского и бриллюэновского рассеяния позволит скорректировать интенсивность бриллюэновского рассеяния.

Метод Бриллюэна измеряет интенсивность обратно рассеянного света Бриллюэна как функцию времени таким же или аналогичным рефлектометру способом.

Таким образом, если приемник достаточно быстро реагирует на зондирующий импульс длительностью W, то пространственное разрешение определяется:

$$\delta_Z = vW/2. \quad (7)$$

Проблемы реальных приложений

Одним из ключевых вопросов для реальных приложений является стоимость системы. Стоимость бриллюэновской системы может быть выше, чем, например, рамановской, поскольку используются сложные устройства, такие как лазеры с суженной шириной линии и регулятор частоты. Другой проблемой является одновременная зависимость спектра рассеянного сигнала от деформации и температуры.

В большинстве работ предполагалось, что температура постоянна во время измерения деформации и наоборот. Разработка кабеля, в котором одни волокна расположены плотно, а другие - свободно, соответственно для определения деформации и температуры и для определения температуры, облегчит проведение одновременных измерений. Другой ключевой проблемой является монтаж таких сенсорных кабелей. Сенсорные кабели должны плотно прилегать к объектам измерения.

Эти методы монтажа должны быть исследованы для каждого конкретного применения, например, для контроля деформации/температуры в плотинах, атомных станциях, трубопроводах и зданиях.

Вероятно, для датчиков в системах мониторинга основной проблемой (общей для всех технологий) является гарантия того, что сама система датчиков не будет повреждена ни при развертывании в поле, ни в процессе эксплуатации. Необходимо гарантировать, что данные, получаемые от датчиков, отражают реальное поведение материала или конструкции и не будут искажены из-за неисправности датчика. Для этого может потребоваться мониторинг самих датчиков. В связи с этим возникают очень сложные задачи разработки новых методов мониторинга:

a) сенсорная самопроверка или с помощью отчетов о состоянии друг друга;
b) "отказоустойчивые" сенсорные сети.
c) Если один из датчиков выходит из строя, алгоритмы идентификации повреждений должны быть способны адаптировать сеть. Такая способность к адаптации подразумевает, что в сенсорную сеть должна быть встроена определенная избыточность.

Другими сложными задачами для волоконно-оптических датчиков, тесно связанными с предыдущими, являются следующие:

a) снижение перекрестной чувствительности;
b) улучшения разрешения и/или динамического диапазона;
c) повышение устойчивости, надежности и т.д. в реальных условиях;

Заключение

Системы мониторинга включаю в себя оптические датчики и исполнительные устройства, позволяющие регистрировать, анализировать, локализовать и прогнозировать нагрузочные и повреждающие условия в конструкции. Тем самым, неразрушающий контроль становится неотъемлемой частью конструкции. По функциональности и степени сложности системы мониторинга можно разделить на пять уровней, начиная от простого обнаружения неисправности до автоматической диагностики, прогнозирования и даже восстановления. Чем выше уровень, тем выше сложность и функциональные возможности. Системы мониторинга естественным образом связана с безопасной эксплуатацией, обслуживанием, рациональной технической и экономической эксплуатацией сооружений. С помощью систем мониторинга можно на ранних стадиях выявить нестандартное поведение конструкций, снизив риск внезапного обрушения и сохранив природу, грузы и даже человеческие жизни. Кроме того, эти системы позволяют своевременно проводить восстановительные работы, продлевать срок службы, что гарантирует снижение прямых экономических потерь (ремонт, обслуживание, реконструкция), а также помогают избежать потерь для пользователей из-за разрушения конструкций. С помощью этих систем можно на ранней стадии выявлять скрытые (неизвестные) структурные проблемы, что позволяет более эффективно использовать материалы и компоненты существующих конструкций.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 071-03-2023-001.

Литература

1. Paulo Antunes, Hugo Rodrigues, Rui Travanca, Licínio Ferreira, Humberto Varum and Paulo André. Structural Health Monitoring of Different Geometry Structures With Optical Fiber Sensors. Photonic Sensors (2012) Vol. 2, No. 4:pp 357–365.

2. Tsuneo Horiguchi, Kaoru Shimizu, Toshio Kurashima, Mitsuhiro Tateda, and Yahei Koyamada. Development of a Distributed Sensing Technique Using Brillouin Scattering. Journal of Lightwave technology, vol. 13, no. 7, pp. 1296-1302.

3. PierreClément , Renaud Gabet , Vincent Lanticq, and Yves Jaouën. B-OTDR Solution for Independent Temperature and Strain Measurement in a Single Acquisition. Journal of Lightwave technology, vol. 39, no. 18, september 15, 2021, pp.6013-6018/ 2003.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАКОНА 80/20

Гродзенский С.Я., Гродзенский Я.С.
РТУ МИРЭА (Москва, Россия)
+7 (985) 300 -24-66 grodzenskys@yandex.ru

Статья посвящена истории и перспективам применения метода Парето, основанного на законе 80/20. Это один из семи простых инструментов качества, позволяющий установить основные причины возникшей проблемы и наметить меры по ее решению. В статье предпринята попытка определить в каких направлениях может развиваться метод.

Ключевые слова: закон 80/20, распределение Парето, рекурсивность, нормальное распределение, распределение Леви.

New possibilities for the application of the law 80/20. Grodzensky S.Ya., Grodzensky Ya.S. RTU MIREA.

The article is devoted to the history and prospects of using the Pareto method based on the 80/20 law. The method boils down to constructing a diagram in which each column reflects the relative contribution of a separate factor to the problem, and all of them are arranged in descending order. The article attempts to determine in which directions the method can develop.

Keywords: 80/20 law, Pareto distribution, recursiveness, normal distribution, Levy distribution.

Введение

Итальянский социолог и экономист Вильфредо Парето в конце XIX века изучал зависимость между величиной дохода и количеством получающих его лиц. Оказалось, что материальные блага распределяются между различными слоями населения неравномерно. Устойчивую зависимость между числом людей N и их прибылью X, согласно Парето, записывается в виде степенного выражения

$$N = A \cdot X^{-s},$$

где A и s – положительные величины, мало меняющиеся в зависимости от статистических данных, собранных в разных городах, странах и временных периодов.

Иными словами, математическое соотношение между частью людей (в процентах от общей численности изучаемого населения) и долей богатства, контролируемой этой группой всегда таково, что приблизительно одна пятая часть народа контролирует четыре пятых всей суммы капитала.

У Парето нашлось много последователей, которые стали собирать статистические данные из самых разных областей человеческой деятельности, и при этом почти всегда им удавалось сделать открытие – установить справедливость соотношения 80/20. Альфред Лотка определил долю авторов, опубликовавших n научных работ в некоторой предметной области. Получилась зависимость, которую можно трактовать как закон Парето с параметром формы равным единице. Английский библиотекарь Самуэль Бредфорд установил, что 80% профильной информации сосредоточено в 20% научных журналов. Лингвист из Гарварда Джордж Ципф открыл принцип наименьшего усилия: ресурсы (люди, товары, время и т.п.) самоорганизуются таким образом, что 20% любого ресурса производят 80% деятельности. Ричард Кох обобщил разнообразные проявления закономерности Парето, собрал их в монографии, в которой сам принцип 80/20 поименовал «величайшей тайной нашего времени» [1].

Исследуя перспективы использования подхода *Big Data*, один из авторов данной статьи обратил внимание на то, что по оценке специалистов 80% информации входит в группу неструктурированной [2]. Основоположнику концепции Всеобщего управления на основе качества *TQM* американцу Джозефу Джурану пришла идея использовать Принцип 80/20 в качестве инструмента управления качеством

продукции. Ведь очевидно, что закон неравномерности позволяет выявить главные причины, возникшей проблемы и наметить первоочередные меры для ее решения. Методика построения столбиковой диаграммы, при которой высоты столбиков убывает достаточно проста, не требует специальных знаний и изложена во многих пособиях, например, в учебнике [3].

Постановка проблемы

В работе [4] отмечается, что степенные распределения с различными значениями параметра формы и, в частности, распределение Парето проявляются в динамических системах, находящихся в шумовом поле. Экономист и социолог Парето, лингвист и математик Ципф, библиограф и литературовед Бредфорд, статистик и демограф Лотка установили закономерности, которые внешне проявляются по-разному, но имеют общую природу.

Происхождение всех проявлений принципа 80/20 связано с одновременно протекающими процессами концентрации и рассеяния информации. Такие процессы происходят всюду, где возникают конфликтные ситуации, обостряется конкуренция, вообще, сталкиваются интересы разных сторон. Если удается достичь стационарного состояния, прийти к компромиссу, то возникают предпосылки для возникновения распределения Парето.

В частности, Ципф утверждал, что гиперболические статистик наблюдаются в результате борьбы между говорящим и слушающим. Первый стремится сокращать свои усилия и произносит короткие предложения, а второй хочет понять и требует объяснений и всевозможных подробностей.

Хотя метод Парето и применяется в самых разных областях деятельности, по нашему мнению, его возможности гораздо шире. Рассмотрим возможные пути развития этого метода.

Метод Парето в логистике

Логистические задачи приобретают все большее значение. Все более сложными становятся и возникающие, в связи с этим проблемы: дефицит и удорожание ключевых ресурсов, рост стоимости обработки заказов, и во многом как следствие этого, увеличение сроков поставок. Специалисты по логистике вынуждены заниматься подсчетом потерь. И здесь полезным может оказаться метод Парето. Следует разбить возможные источники потерь на группы и расположить их в порядке убывания. Специфика логистических задач заключается в том, что обычно достаточно разделения на три группы – наиболее важные, второстепенные и незначительные. Удачное классификация возможных потерь на группы позволит выяснить причины их возникновения и наметить меры по их уменьшению.

Рекурсивность схемы Парето

Рекурсия (от лат. *recursio* – возвращение) – это способ определения множества объектов или функций с использованием ранее заданных частных определений. Применительно к рассматриваемому закону это означает, что среди верхних 20% системы, обнаруживающей распределение Парето, в свою очередь есть свои 20%, которые дают непропорционально больший результат, чем остальные 80% и т. д.

Рекурсивность принципа Парето можно проиллюстрировать на таком примере. Выражение «золотой миллиард» появилось в то время, когда население Земли достигло пяти миллиардов, и, таким образом, страны с общей численностью населения в один миллиард составляли 20% населения, и пользовались 80% ресурсов. К начало 2023 года численность человечества превысила восемь миллиардов. Теперь пятая часть населения Земли превышает полтора миллиарда. А пятая часть этого «золотого человечества» составляет 330 миллионов – это нынешняя численность населения США, владеющая значительной доли богатств. Последний вывод можно сделать на основании того, в списке 20 богатейших людей мира 16 (80%) являются гражданами этой страны.

Диаграмма Парето дает возможность сфокусировать усилия и ресурсы на устранении наиболее значимых проблем. После их выявления во многих случаях полезно провести более глубокое исследование с учетом рекурсивности схемы Парето.

Трендовая диаграмма Парето

Одно из развития метода Парето связано с построением трехмерной диаграммы – добавлением шкалы, позволяющей наблюдать процесс в динамике. Иными словами, регистрировать число дефектов каждого вида за определенный период времени. Использование 3*D*-диаграмма Парето даст возможность не только выявлять главные причины возникшей проблемы, но одновременно видеть, насколько эффективными оказались меры по их устранению. Кроме того, диаграмма Парето может оказаться полезной и для выявления положительных сдвигов в ходе производства.

Распределение Парето и нормальное распределение

Нормальному распределению соответствует наиболее естественная математическая модель. Не случайно и утвердилось его название «нормальное распределение».

При этом законе, открытым Гауссом, среднее значение, медиана и мода совпадают, а вероятность больших отклонений от среднего значения быстро убывает с увеличением этого отклонения. В распределении Парето все иначе: соотношение 80/20 предполагает существенную асимметричность.

Вообще говоря, это – «ненормальное» распределение и приводящая к нему модель противоречит привычным представлениям человека.

Интегральная и дифференциальные функции распределения в случае закона Парето обычно представляются в виде

$$F(x) = 1 - (M/x)^s$$

$$f(x) = sM^s/x^{s+1},$$

где $M > 0$ – параметр масштаба; $s > 0$ – параметр формы. $x \geq M$.

Если рассматривать принцип Парето с точки зрения нормального распределения, то доля населения, владеющая соответствующей частью богатства, зависит от отношения σ /μ [5]. Из рис. видно, если это отношение мало (меньше единицы) эта зависимость практически линейна: 20% усилий приводит к 20% результата. Чем больше отношение σ/μ, тем выше отношение результат/усилие.

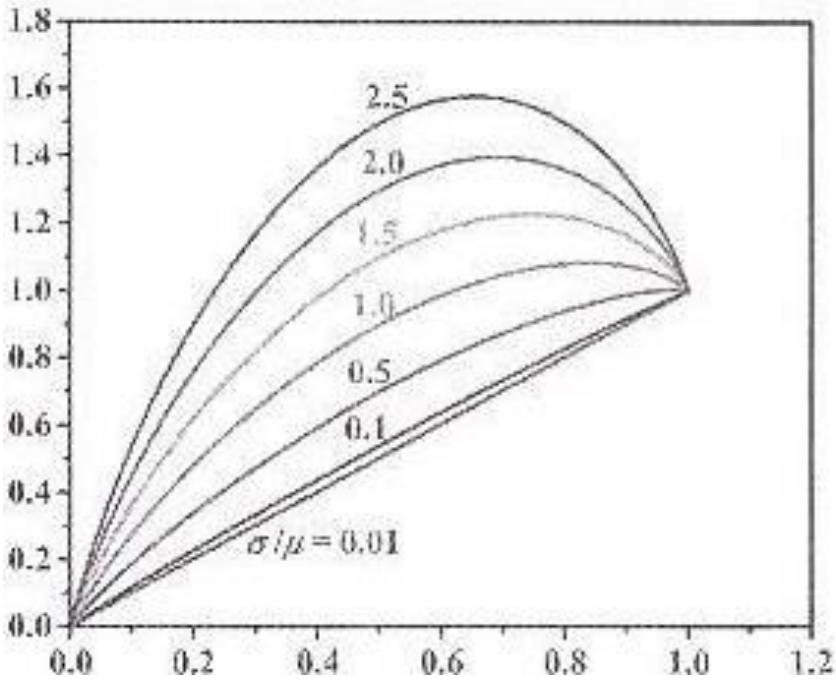


Рисунок - Зависимость между долей населения и дохода этой доли при различных значениях σ /μ

Кривая для σ /μ = 2 содержит точку (20% причин приводит к 80% следствий), которая соответствует принципу Парето. Таким образом, статистическое состояние, при котором выполняется правило 80/20, соответствует нормальному распределению со стандартным отклонением, которое в два раза превышает среднее значение. При больших отношения σ/μ возможны ситуации, когда клиент обеспечивает более 100% общей прибыли компании. Вместе с тем возможно существование негативных факторов, когда заказчик или пациент приносит компании одни убытки. Такие случаи приводятся в книге Р. Коха «Менеджер 80/20: секрет того, как работать меньше и достигать большего» [6].

Распределение Парето и распределение доходности акций Леви

Процесс накопления носит в общем случае случайный или как говорят экономисты, мультипликативный характер, то есть значение элемента на каждом шаге умножается на случайную величину. При исследовании распределения богатств можно выделить две области. В диапазоне с низким уровнем дохода его можно описать логарифмически-нормальным законом, а при большом доходе – законом Парето.

Известно, что распределение доходности акций характеризуются “тяжелым хвостом” и значительно отклоняется от закона Гаусса. Ценообразование и его изменение, динамика накопления богатства, удается описать законом распределения, предложенным Полем Леви. Этому французскому математику, одному из основоположников теории случайных процессов удалось обобщить функцию плотности распределения таким образом, что ее частными случаями являются и нормальное распределение, и распределение Парето. Установлено, что если доходы изменяются по закону Парето, то

прибыльность акций подчиняется распределению Леви с параметром, равным параметру соответствующего распределения Парето.

Распределение Леви, называемое в литературе часто распределение Леви – Парето пока не привлекло большого внимания практиков вследствие громоздкости формул и связанных с этим аналитических трудностей. Впрочем, не исключено, что в будущем на основе закона Леви – Парето будет предложен эффективный инструмент контроля и управления качеством.

Заключение

Диаграмма Парето стала одним из самых популярных инструментов в квалитологии (науке о качестве). Авторы надеются, что использование обнаруженных новых свойств закона 80/20, позволит сделать этот инструмент еще более востребованным на практике и его использование будет способствовать повышению качества продукции.

Литература

1. *Кох Р.* Принцип 80/20. Пер. с англ. – М.: Эксмо, 2012. – 448 с.
2. *Гродзенский С.Я., Калачева Е.А.* Большие данные: история, перспективы, потенциал // Стандарты и качество, 2017, № 8, с. 64-67.
3. *Гродзенский С.*Я. Управление качеством: учебник. – 4-е изд. М.: Проспект, 2023. – 376 с.
4. *Никитин А.П., Чернавская О.Д., Чернавский Д.С.* Распределение Парето в динамических системах, находящихся в шумовом поле // Российская академия наук. Труды Института общей физики им. А.М. Прохорова, 2009, т. 65, с. 107-123.
5. *Tanabe K.* Pareto's 80/20 rule and the Gaussian distribution // Physika A, v. 510, 2018, 15 Nov., p. 635-640.
6. *Koch R.* The 80/20 Manager: The Secret to Working Less and Achieving more, Little, Brown and Company, New York, 2013.

ОПИСАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ

Гродзенский С.Я.
РТУ МИРЭА (Москва, Россия)
+7 (985) 300 -24-66 grodzenskys@yandex.ru

Дана история возникновения распределения Вейбулла. Рассмотрены основные случаи обобщения распределения Вейбулла, проанализирована возможность использования обобщенных распределений Вейбулла и смеси распределения Вейбулла и экспоненциального для описания зависимости интенсивности отказов технических объектов от времени.

Ключевые слова: распределение Вейбулла, обобщенное распределение Вейбулла, распределение крайних членов вариационного ряда, статистико-физический метод анализа надежности.

The history of the origin of the Weibull distribution is given. The main cases of generalization of the Weibull distribution are considered, the possibility of using generalized Weibull distributions and a mixture of the Weibull and exponential distributions to describe the dependence of the failure rate of technical objects on time is analyzed.

Keywords: Weibull distribution, generalized Weibull distribution, distribution of extreme terms of a variation series, statistical-physical method of reliability analysis.

Введение

История возникновения распределения Вейбулла начинается с публикации в 1927 г. французским математиком Морисом Фреше (*Maurice Frechet*; 1878-1973) в журнале Польского математического общества статьи, посвященной изучению предельного поведения крайних членов вариационного ряда [1], в которой получено распределение

$$F(t) = \exp\{-[(t-t_0)/T]^{-s}\}, \quad (1)$$

где $t_0 > 0$, $T > 0$ и $s > 0$ – соответственно, параметры сдвига, масштаба и формы.

Выражение (1) используется для анализа экстремальных явлений, связанных с окружающей средой, таких как землетрясения и наводнения. На закономерность (1) обратил внимание Паул (Поль) Розин (*Paul Rosin*; 1890-1967) – инженер-теплотехник из Германии, основавший в Дрездене лабораторию топливных технологий. В 1920-е годы угольная пыль стала экономически эффективным источником

энергии для электростанций и важно было знать распределение отдельных частиц по размерам. Вместе со своим ближайшим сотрудником Эрихом Раммлером (*Erich Rammler;* 1901-1986) Розин применил распределение, описанное Фреше, при обработке результатов гранулометрических анализов кварца и продуктов измельчения рудно-галечной мельницы. В 1933 г. в «Журнале Института топлива» появились их совместная публикация «Законы, определяющие крупность угольной пыли» [2], в которой приведена эмпирическая формула распределения частиц угля по размерам

$$F(m) = 1 - \exp\{-(m/\alpha)^s\}, \quad (2)$$

где $F(m)$ – вероятность того, что частица имеет массу (пропорциональную размеру частицы), меньшую m; $\alpha>0$, $s>0$ – параметры распределения.

В 1939 г. шведский инженер-механик Валодди Вейбулл (*Waloddi Weibull*, 1887-1979) при изучении вопросов усталости материалов и анализе отказов, обусловленных износом шарикоподшипников, использовал распределение с функцией надежности вида [3-5].

$$P(t) = \exp\left(-\left[\frac{t-t_0}{T}\right]^s\right), \quad (3)$$

где T, s, t_0 – как и в распределении (1) параметры масштаба, формы, сдвига (последний называется еще «порогом чувствительности») [$P(t \le t_0) = 1$].

В начале 1940-х годов советский математик Б.В. Гнеденко (1912-1995), решая задачу построения асимптотических распределений максимального члена вариационного ряда, установил три типа закономерностей для максимальных и три типа для минимальных значений последовательности независимых величин [6, 7]. При этом асимптотическое распределение третьего типа для минимумов имело вид

$$F(t) = 1 - \exp(-t^s/T). \quad (4)$$

В 1951 г. в журнале Американского общества инженеров-механиков (ASME) В. Вейбулл, не прекращавший исследования в этой области с конца 1930-х годов, опубликовал основополагающую статью «Статистическая функция распределения широкого применения», в которой поставленную задачу сформулировал так: "Представляется, что единственным практическим путем достижения успеха является выбор простой функции

$$F(t) = 1 - \exp[-\varphi(t)], \quad (5)$$

эмпирическая ее проверка и затем ее окончательный выбор, если нет ничего лучшего" [8].

Не останавливаясь на оценке справедливости этих слов в настоящее время, заметим, что в качестве простой функции Вейбулл выбрал непрерывное распределение, сосредоточенное на неотрицательной полуоси, хвост которого убывает экспоненциально-степенным образом. При этом он продемонстрировал широкие возможности при изучении многих статистических закономерностей распределения вероятностей следующего вида

$$P(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^s}{T}\right), \quad (6)$$

Заметим, что в формуле (6) параметры масштаба T и формы s статистически независимы, и этим, на наш взгляд, она с практической точки зрения удобнее выражения (4).

С середины 1950-х годов интерес к функции распределения (6) быстро возрастает, и за ней накрепко закрепляется название – «распределение Вейбулла». Более того, с именем шведского исследователя связывают и другие статистические закономерности, к которым он никакого отношения не имел. Так, распределение Фреше часто именуется «обратным распределением Вейбулла», а формулу (4) иногда называют распределением Вейбулла–Гнеденко, но чаще его рассматривают просто как возможную форму записи этого закона.

Из выражения (6) с очевидностью следует, что экспоненциальное распределение является его частным случаем при $s = 1$, а распределение Рэлея – при $s = 2$. Кроме того, им можно аппроксимировать и другие распространенные в теории надежности законы: гамма-распределение, логарифмически-нормальное, нормальное.

Доказано характеристическое свойство закона: если $\eta = \min(\tau_1, \tau_2, \ldots, \tau_n)$ подчиняется вейбулловскому распределению, случайные величины $\tau_1, \tau_2, \ldots, \tau_n$ независимы и одинаково распределены, то они также подчиняются этому закону. Наряду с эмпирическими данными, показывающими во многих случаях хорошее соответствие модели, для использования распределения Вейбулла существует теоретическое обоснование, исходя из принципа слабейшего звена. Например, разумно предположить: если отказ прибора, характеризуемого большим набором параметров, рассматривается как выход одного из них за пределы установленного допуска, то можно полагать, что изменения этих параметров есть слабо

связанные случайные процессы. Тогда, если τ_i – долговечность по i – му параметру, то ресурс в целом определяется как $\tau = \min(\tau_1, \tau_2, ..., \tau_n)$.

В. Вейбулл всю жизнь скрупулезно фиксировал факты практического использования закона, носящего его имя. В августе 1977 г. ученый, только что отметивший свое 90-летие, подготовил отчет, в котором перечислил более тысячи (!) ссылок на применение модели [9]. Даже трудно вообразить сколько таких сообщений появилось за последующие почти полвека!

Основным показателем надежности многих видов промышленной продукции является интенсивность отказов – условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник (по ГОСТ Р 27.102-2021).

Зависимость интенсивности отказов от времени $\lambda(t)$ в общем случае имеет U-образный вид (рис. 1), на которой традиционно выделяют три периода: I – приработку – интервал от начала эксплуатации (t = 0) до момента t_1, называемый «детскими болезнями», II – период постоянной интенсивности отказов в интервале $t_1 – t_2$ – «нормальная эксплуатация» и III – период износовых отказов, начинающийся в момент t_2.

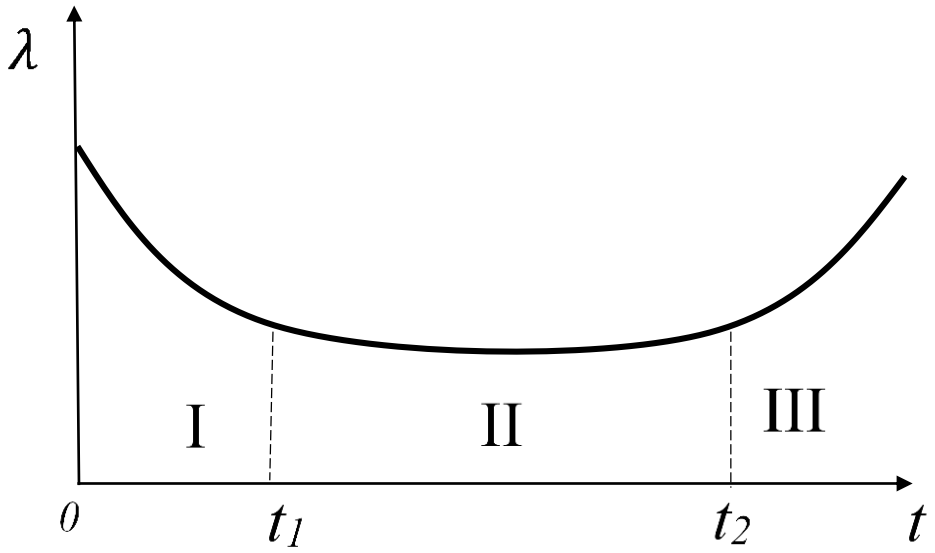


Рисунок 1 – Характерная зависимость интенсивности отказов технических объектов от времени

Вейбулловское распределение позволяет описать интенсивность отказов на любом из участков: в период «детских болезней» s <1 – интенсивность отказов монотонно убывает; в период «нормальной эксплуатации» s = 1, получается экспоненциальное распределение с постоянной интенсивностью отказов; в период износа s> 1, что соответствует возрастанию интенсивности отказов. Если установлена близость эмпирического распределения распределению Вейбулла, то, связывая численные значения параметра формы с видом отказа, можно высказать предположение: при s <1 отказ характеризует период приработки; при s = 1 – "нормальную эксплуатацию", а при больших величинах параметра формы – износ.

Такой подход оказывается эффективным, когда изделия эксплуатируются на труднодоступном объекте, технический анализ отказавшего приборов практически невозможен, а изготовитель получает лишь значение наработки и в случае отказа указание на его внешнее проявление (например, для мощных электровакуумных приборов – «выходная мощность упала ниже нормы»). Но выходная мощность может упасть по множеству причин, начиная от небрежного обращения с прибором до естественного истощения эмиссионного слоя катода. Как устранить неисправность, если ее причина неизвестна?

Работоспособность такого подхода проверялась на нескольких типах мощных электровакуумных приборов сверхвысоких частот и элементов авиационной техники. При этом установлено, что после конструкторско-технологической доработки изделий и принятия мер по улучшению условий эксплуатации значение параметра формы распределения Вейбулла возросло, что свидетельствует об увеличении доли отказов, вызванных накоплением необратимых изменений [10, 11].

Обобщенные распределения Вейбулла

Когда временная зависимость интенсивности отказов приборов имеет выраженные периоды приработки (I) и износа (III), распределение Вейбулла оказывается недостаточно гибким для описания всей кривой (рис. 1). Возникает вопрос, сколько параметров необходимо, чтобы одним выражением описать U-образную зависимость (рис. 1)? Среди статистиков хорошо известно высказывание французского математика Жозефа Бертрана (*Joseph Bertrand*; 1822-1900), известного формулировками парадоксов

теории вероятности: «Дайте мне четыре параметра, и я опишу слона; при пяти параметрах он будет махать хоботом» (цитируется по статье Л. ЛеКама [12]).

Один из способов обобщения распределения Вейбулла заключается в добавлении в функции (5) под знак экспоненты множителя

$$F(t) = 1 - \exp[-\alpha\varphi(t)], \quad (7)$$

где α – параметр, определяющий вид функции; $\varphi(t)$ – неотрицательная, монотонно возрастающая функция, зависящая от времени t.

Такими исследованиями занимаются представители разных стран, но в наименованиях получаемых распределений вероятностей по-прежнему звучит имя инженера-механика из Швеции. Литература по моделям Вейбулла обширна, разрозненна и разбросана по множеству различных журналов. Анализ возможности использования некоторых обобщенных вейбулловских распределений для описания U-образной зависимости $\lambda(t)$ приведены в работе [13].

В монографии новозеландского математика китайского происхождения Чин-Дью Лая (*Chin-Diew Lai*) «Обобщенные распределения Вейбулла» отмечается, что за последние 40 лет количество статей, посвященных различным обобщениям распределения Вейбулла и их приложениям, превысило 4000 [14]. Остановимся на некоторых попытках описания U-образной зависимости $\lambda(t)$, придерживаясь хронологии.

В 1958 г. Дж. Кис (*J.A. Kies*) в брошюре «Прочность стекла», изданной Военно-морской лабораторией, предложил четырех параметрическое распределение [15]

$$F(t) = 1 - \exp\{-[(t-a)/((b-t)]^s/T\}, \quad (8)$$

где a, b – параметры сдвига во времени.

При $0 \le a < t < b < \infty$, $T > 0$, $s > 0$ получаем $\varphi(t) = [(t-a)/(b-t)]^s/T$, а интенсивность отказов после простых преобразований принимает вид монотонно возрастающей зависимости

$$\lambda(t) = (s/T)[(t-a)/((b-t)]^{s-1}[(b-a)/(b-t)^2].$$

В 1962 г. сотрудник компания по разработке программного обеспечения в г. Эндикотте (штат Нью-Йорк, США) Э. Стейси (*E. Stacy*) представил трех параметрическое распределение, которое он назвал "обобщенной гамма-моделью", включающего в себя одновременно гамма-распределения и распределения Вейбулла [16]. Стейси ввел параметр $c > 0$, плотность, функция распределения интенсивность отказов приобрели вид

$$f(t) = [sT^{-sc}/\Gamma(c)]t^{sc-1}\exp[-(t/T)^s], \quad (9)$$

$$F(t) = \Gamma(c)^{-1}\gamma[c,(t/T)^s], \quad (10)$$

$$\lambda(t) = sT^{-sc}t^{sc-1}\exp[-(t/T)^s] / \Gamma(c) - \gamma[c,(t/T)^s], \quad (11)$$

где γ – знак неполной гамма-функции.

Из (9) следует, что при $c = 1$ распределение становится вейбулловским, а при $s = 1$ – гамма-распределением. Если $c \to \infty$, то получается логарифмически-нормальный закон. Варьируя значения параметров c и s, можно получить и некоторые другие распространенные распределения. Что касается зависимости $\lambda(t)$, то ее вид определяется значением произведения cs. Если оно меньше единицы, но при этом параметр формы $s > 1$, оно приобретает форму, напоминающую рис. 1.

В 1969 г. Дж. Уайт (*J. S. White*) ввел логарифмически-вейбулловское распределение. В результате логарифмического преобразования выражения (6) имеем функцию распределения [17]

$$F(t) = 1 - \exp\{-\exp[(t-a)/T]\}, \quad (12)$$

где $-\infty < t < \infty$, $-\infty < a < \infty$, $T > 0$ и $\varphi(t) = \exp[(t-a)/T]$, а интенсивность отказов представляет монотонно возрастающую функцию

$$\lambda(t) = 1/T\exp[(t-a)/T]. \quad (13)$$

Отметим, что поскольку распределение в форме (12) определено при $-\infty < t < \infty$, применение его для исследования надежности реальных объектов сомнительно. Вместе с тем оно применяется при исследовании радиоактивных выбросов, хрупкости кристаллов и т.д.

В 1987 г. К. Фани (*K.K. Phani*) к модели Киса (8) добавил пятый параметр [18]

$$F(t) = 1 - \exp\{[-(t-a)^{s1}]/[T(b-t)^{s2}]\},$$

где s_1, s_2 – параметры формы распределения.

При $0 \le a < t < b < \infty$, $T > 0$, $s_1 > 0$ и $s_2 > 0$ получаем $\varphi(t) = (t-a)^{s1}/[T(b-t)^{s2}]$. Интенсивность отказов имеет вид

$$\lambda(t) = [(t-a)]^{s1}s_1/T[(t-a)/(b-t)^{s1}] + [(t-a)]^{s2}s_2/T[(t-a)/(b-t)^{s2}]$$

Даже варьируя пятью параметрами, не удается описать U-образную кривую.

В начале 1990-х годов группа исследователей Рочестерского университета (США) во главе с математиком, индийцем по происхождению Говиндом Мудхолкаром (Govind Mudholkar) разработала «экспоненцированное распределение Вейбулла» [19, 20], представляющее собой модификацию распределения (6) путем введения дополнительного параметра a ($0 < a < \infty$).

$$F(t) = [1 - \exp\{-(t/T)^s\}]^a$$

Выражение для интенсивности отказов в этом случае

$$\lambda(t) = [1 - \exp\{-(t/T)^s\}]^a \, a(t/T)^s s \exp(-t/T)^s / t\,[1 - \exp - (t/T)^s][1 - (1 - \exp - (t/T)^s]^a$$

В работе [21] показано, что вид $\lambda(t)$ не зависит от T. При этом если $s > 1$ и $sa < 1$: $\lambda(t)$ имеет форму, напоминающую рис. 1.

В паре с другим соавтором Г. Мудхолнар в 1994 г. предложил семейство обобщенных вейбулловских распределений, выводимых из базового двухпараметрического распределения Вейбулла путем добавления параметра θ, который может принимать любое значение, т.е. $-\infty < \theta < \infty$. Если $\theta \to \infty$, то получается распределение (6) [22]. Зависимость $\lambda(t)$ при этом имеет вид

$$\lambda(t) = [s(t/T)^{s-1}]/\{T(1 - [(t/T)^s/\theta])\}.$$

Если $s < 1$ и $0 < \theta < \infty$, то $\lambda(t)$ имеет U-образный вид.

В начале 2000-х годов значительных результатов в изучении обобщенных распределений Вейбулла добился Чинь-Дью Лай, работавший в Университете Мэсси в столице Новой Зеландии г. Веллингтоне. Совместно с профессором университета Гонконга Мин Се (*Min Xie*) им была разработана трехпараметрическая модель, которую они назвали модифицированным распределением Вейбулла [23-26]. Функция распределения задается формулой

$$F(t) = 1 - \exp[-at^s \exp(t/T)],\ t \geq 0, \tag{14}$$

где параметры $T > 0$, $s > 0$ и $a > 0$. При $t \to \infty$ (14) сводится к распределению Вейбулла-Гнеденко (4). Функция интенсивности отказов в случае модифицированной модели Вейбулла имеет вид

$$\lambda(t) = a\,(s + t/T)\,t^{s-1}\exp(t/T) \tag{15}$$

Очевидно, что форма $\lambda(t)$ в выражении (15) зависит только от s. Если $s \geq 1$, то $\lambda(t)$ – монотонно возрастает. При $0 < s < 1$ $\lambda(t)$ сначала уменьшается, а затем увеличивается. При этом точка перегиба $t*$ равна $t* = T(\sqrt{s} - s)$.

Главное, что при использовании рассмотренных законов зависимость $\lambda(t)$ оказывается не U-образной, а скорее V-образной – отсутствует плоская область постоянства интенсивности отказов, которая важна в приложениях при описании надежности интегральных схем, изделий электроэнергетики и многих других. Это же относится и к появившимся в последующие годы распределениям Вейбулла с изменяющимися параметрами, т.е. когда один или оба параметра в выражении (6) являются функциями времени.

Логарифмически-нормальное модифицированное распределение Вейбулла

В 2019 г. Мохаммед Шахатрех (*Mohammed Shakhatreh*) – адъюнкт-профессор статистики из Иорданского университета науки и технологий, Артур Лемонте (*Artur Lemonte*) – из Федерального университета г. Натал, бразильского штата Риу-Гранди-ду-Норти и Герман Аренас (*German Arenas*) – профессор математики Промышленного университета Сантандера (г. Букараманга, Колумбия) объединили усилия и опубликовали статью [27], в которой предложили пяти параметрическое логарифмически-нормальное модифицированное распределение Вейбулла. Их концепция основана на делении отказов на внезапные и постепенные. В предположении, что эти отказы независимы, вероятность безотказной работы объекта $P(t)$ задается формулой

$$P(t) = P_1(t)\,P_2(t), \tag{16}$$

где $P_1(t)$ и $P_2(t)$ – вероятности безотказной работы на внезапный и постепенный отказ.

Предлагается описывать надежность в соответствии с формулой (16). При этом для внезапных отказов использовать логарифмически-нормальное распределение, а для постепенных – модифицированное вейбулловское с интенсивностью отказов (15). Нужно заметить, что таким образом удается наиболее точно описать кривую интенсивности отказов.

Статистико-физический подход и смесь распределений

При обосновании распределения моментов наступления отказов изделий необходимо учитывать, что существуют причины статистической неоднородности: эксплуатация изделий в различных условиях и режимах; изделия одного и того же вида, изготовленные различными предприятиями, смешиваются на складе; наличие скрытых дефектов в изделиях поставляемой партии и др. В этом случае наработку до отказа можно рассматривать как условную случайную величину ϖ:

$$\omega = \nu\eta + (1 - \nu)\xi, \quad (17)$$

где ν принимает значение 0 или 1 с вероятностями $(1 - C)$ и C соответственно; ξ – наработка до постепенного отказа; η – наработка до внезапного отказа.

Случайные величины ξ и η взаимно независимы. Распределение случайной величины (17) является смесью распределений. По формуле полной вероятности получаем:

$$P(t) = C\,P_1(t) + (1 - C)\,P_2(t),$$

где C – вероятность того, что изделие подвержено внезапным отказам; $P_1(t)$ и $P_2(t)$ – вероятности безотказной работы на внезапный и постепенный отказ.

Зададимся вопросом: существует ли момент t_2, принимаемый за начало старения? Разве процессы деградации не начинаются в момент первого включения? И аналогичный вопрос: период приработки заканчивается в момент t_1? Трехпериодная U-образная зависимость в демографической статистике описывает вероятность смерти человека от возраста. При этом известно, что старение человека начинается чуть ли не в момент рождения, а детские болезни возможны в любом возрасте. Эти рассуждения наталкивают на мысль, что физически обоснованно трактовать «лямбда-характеристику», как результат сложения двух процессов: старения с возрастающей интенсивностью и роста (становления) с убывающей интенсивностью.

На основе вышесказанного предлагается использовать модель расходования ресурса, согласно которой в период I надежность объекта обусловлена в основном его начальным качеством, определяемым уменьшающейся со временем интенсивностью λ_0 а в период III — определяется скоростью накопления необратимых изменений с возрастающей интенсивностью λ_t. Что касается периода II, то здесь имеет место примерное постоянство интенсивности отказов, обусловленное тем, что λ_0 и λ_τ уравновешиваются (рис. 2).

Можно предположить, что наблюдаемая зависимость интенсивности отказов от времени определяется двумя составляющими: одна вызвана неоднородностью начального качества изделий, а другая – случайным характером накопления необратимых изменений. Исходя из такой интерпретации "лямбда-характеристики", для описания надежности широкого класса изделий предложено использовать смесь экспоненциального и вейбулловского распределений.

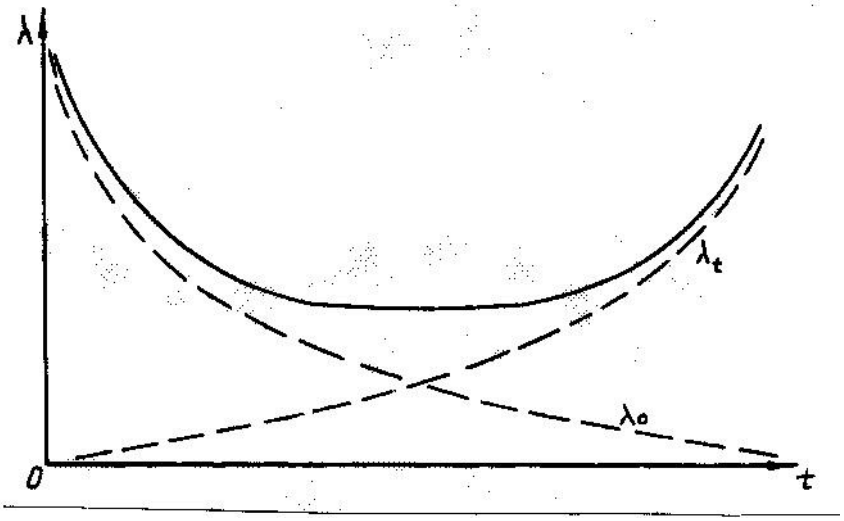


Рисунок 2 – Интерпретация «лямбда-характеристики», отвечающей модели отказов «смесь распределений экспоненциального и Вейбулла»

Вероятность безотказной работы задается выражением

$$P(t) = C \exp(-t/T_1) + (1 - C) \exp[-(t/T_2)^s], \quad (18)$$

где C – удельный вес экспоненциальной компоненты, T_1 – масштабный параметр экспоненциальной составляющей, T_2, s – параметры масштаба и формы вейбулловской компоненты; при этом $T_2 > T_1$, $0 \le C \le 1$, $s \ge 1$.

Из формулы (18) находим соответствующие соотношения для частоты отказов $f(t)$ и интенсивности отказов $\lambda(t)$

$$f(t) = \{C/T_1 \exp(-t/T_1) + (1 - C)s\,t^{s-1}/T_2^s \exp[-t/T_2)^s]\},$$



(19)

Легко устанавливаются частные случаи вероятности безотказной работы (18): при $C = 1$ она совпадает с вероятностью при экспоненциальном законе, при $C = 0$ – при распределении Вейбулла, при $s = 1$ – вероятность при смеси двух экспоненциальных законов (физически это означает, что старение отсутствует).

Параметрам, входящим в зависимость (18), можно придать физический смысл: T_1 характеризует скорость приработки – чем ниже значение T_1, тем быстрее устанавливается нормальная эксплуатация; T_2 определяет значение интенсивности отказов в период нормальной эксплуатации; s – скорость процесса износа, при этом, чем больше s, тем сильнее выражены процессы старения и износа; C определяет начальное значение интенсивности отказов ($t = 0$) и долю внезапных отказов. Начальное значение интенсивности отказов находим, полагая в выражении (19) $t = 0$: $\lambda(0) = \frac{C}{T_1}$.

Хотя поведение функции надежности существенно зависит от соотношений численных значений входящих в нее параметров, можно сделать выводы. Функция $P(t)$ в начальный период круто спадает (выходят из строя дефектные изделия с интенсивностью $\frac{1}{T_1}$), затем наступает период, в течение которого вероятность безотказной работы остается практически постоянной во времени (дефектные изделия в основном уже отказали, а вероятность отказа годных все еще невелика), а при больших t функция надежности характеризует вероятность выхода из строя изделий, подверженных отказам вследствие износа.

В начальный период (0 – t*****) наблюдается уменьшение интенсивности отказов, которое тем больше, чем меньше C (меньше доля отказов, обусловленных неоднородностью начального качества изделий) и чем больше s (четче выражены износовые явления). Начиная с момента t* происходит возрастание $\lambda(t)$. С физической точки зрения в момент t* вероятность отказа из-за неоднородности начального качества изделия и случайного характера накопления необратимых изменений равны между собой.

Эффективность такого подхода продемонстрирована на нескольких типах приборов СВЧ [28, 29]. Результат статистико-физического анализа хорошо согласуется с данными технического анализа причин и характера отказов, что свидетельствует о работоспособности метода.

Параметр C представляет собой «выброс» и должен иметь по возможности малое значение. Здесь, по нашему мнению, уместно вспомнить теорию вариабельности Шухарта, а также о двух видах причин (общих и особых), характеризующих вариабельность. Очевидно, что значение параметра C для процесса производства в управляемом состоянии должно быть как можно меньше. Понимание связи статистико-физического подхода и теории вариабельности позволит глубже анализировать надежность технических изделий и в конечном счете эффективнее управлять их качеством.

Заключение

Распределение Вейбулла имеет такое множество приложений в самых разных аспектах деятельности, что простое их перечисление, заняло бы не одну журнальную полосу. Настоящая статья посвящена истории появления и развития этого вероятностно-статистического закона. Прошло почти сто лет после публикации статьи М. Фреше, положившей начало исследованиям вероятностного распределения, получившего название распределение Вейбулла. И главное – распределение продолжает развиваться, демонстрируя все новые возможности практического использования.

Литература

1. *Frechet M.* Sur la loi de probabilite de l’ecart maximum // Annales de la Societe polonaise de Mathematique (Cracovie), 1927, vol. 6, p. 93–116.
2. *Rosin P., Rammler E.* The laws governing the fineness of powdered coal // Journal of the Institute of Fuel, 1933, v. 7, No 1, p. 29–36.
3. *Weibull W.* A statistical theory of the strength of materials // Ingeniors Vetenskaps Akademien Handlingar, 1939, nr. 151, p. 1–45.
4. *Weibull W.* The phenomenon of rupture in solids // Ingeniors Vetenskaps Akademien Handlingar, 1939, nr. 153, p. 16–53.
5. *Вейбулл В.* Усталостные испытания и анализ их результатов. М.: Машиностроение, 1964. – 276 с.
6. *Гнеденко Б. В.* Предельные теоремы для максимального члена вариационного ряда // Доклады АН СССР, Новая серия, 1941, т.32, № 1.
7. *Gnedenko B. V.* Sur la distribution limite du terme maximum d’une serie aleatoire // Annals of Mathematics, 1943, vol. 44. No. 3, p. 423–453.

8. *Weibull W.* A statistical distribution function of wide applicability // Journal of Applied Mechanics ASME, 1951, vol. 18, No. 3, p. 293–297.
9. *Weibul W.* References on Weibull distribution. A Report, Forsvarets Teletekniska Laboratorium, Stockholm: FTL, 1977.
10. *Гродзенский С. Я.* Статистико-физический подход к исследованию надежности изделий электронной техники // Электронная промышленность, 1991, № 12, с. 33-36.
11. *Grodzensky S. Ya.* A Statistical Physics Method of Electronic Device Reliability Testing from Working Data Pages // Measurement Techniques, 2003, v. 46, N. 6, p. 616-618.
12. *Le Cam L.* Maximum likelihood; an introduction // Intern. Stat. Rev., 1990. Vol. 58. P. 153–171.
13. *Гродзенский С. Я.* Модели надёжности на основе модифицированных распределений Вейбулла // Измерительная техника, 2013, № 7, с. 27-31.
14. *Chin-Diew Lai.* Generalized Weibull Distributions. - Heidelberg New York Dordrecht London: Springer, 2014. 118 p.
15. *Kies J. A.* The Strength of Glass. Naval Research Laboratory, Washington DC, Report, 1958, No 5093.
16. *Stacy E. W.* A generalization of the gamma distribution // Annals Math. Statistics, 1962. Vol. 33. P. 1187–1192.
17. *White J. S.* The moments of log-Weibull order statistics // Technometrics, 1969, vol. 11, p. 373-386.
18. *Phani K. K.* A new modified Weibull distribution function. Communications of the American Ceramic Society, 1987, vol. 70, p. 182–184.
19. *Mudholkar G. S., Srivastava D. K.* Exponentiated Weibull Family for Analyzing Bathtub Failure-Rate Data // IEEE Transactions on Reliability, 1993, vol. 42, p. 299-302.
20. *Mudholkar G. S., Srivastava D. K., Freimer M.* The exponentiated Weibull family: A reanalysis of bus-motor-failure data // Technometrics, 1995, vol. 37, p. 436–445.
21. *Mudholkar G. S., Hutson A. D.* The exponentiated Weibull family: some properties and a flood data application // Communications in Statistics – Theory and Methods, 1996, vol. 25(12), p. 3059–3083.
22. *Mudholkar G. S., Kollia G. D.* Generalized Weibull family: A structural analysis // Communications in Statistics-Theory and Methods, 1994, vol. 23, p. 1149–1171.
23. *Lai C. D., Xie M., Murthy D.* Modified Weibull model // IEEE Transactions on Reliability, 2003, vol. 52, p. 33–37.
24. *Lai C. D., Zhang L. Y., Xie M.* Mean residual life and other properties of Weibull related bathtub shape failure rate distributions // International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 2004, vol. 11(2), p. 113–132.
25. *Xie M., Tang Y. Goh T. N.* A modified Weibull extension with bathtub-shaped failure rate function // Reliability Engineering and System Safety, 2002, vol. 76, p. 279–285.
26. *Nadarajah S., Kotz S.* On some recent modifications of Weibull distribution // IEEE Transactions on Reliability, 2005, vol. 54(4), p. 561–562.
27. *Shakhatreh M. , Lemonte A., Arenas G.* The log-normal modified Weibull distribution and its reliability implications // Reliability engineering & System safety, 2019, vol. 188, p. 6-22.
28. *Гродзенский С. Я., Киселевич В. П., Храмов М. Ю.* Распределение моментов возникновения отказов радиоэлектронной аппаратуры // Нелинейный мир, 2016, № 4, с. 55-58.
29. *Гродзенский С. Я., Гродзенский Я. С., Марещенков П. В.* Статистико-физический анализ надежности изделий радиоэлектроники на основе смеси распределений // Успехи современной радиоэлектроники, 2021, т. 75, № 12, с. 63-68.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИСПЫТАНИЙ НА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Палагута К.А., Груненков Н.В.
Московский Политехнический университет
+7 (915) 357-12-34, grunenkovnv@yandex.ru

Статья посвящена разработке и исследованию системы для проведения виброиспытаний с целью выявления виброустойчивости электронных печатных плат. Рассматривается структурная схема системы испытаний и приводятся результаты экспериментов с прототипом системы.

Ключевые слова: печатная плата, виброиспытания, электронные устройства.

Study of the testing system for vibration resistance of electronic printed boards. Palaguta K.A., Grunenkov N.V., Moscow Polytech.

The article is devoted to the development and research of a system for conducting vibration tests in order to identify the vibration resistance of electronic printed circuit boards. The block diagram of the test system is considered and the results of experiments with the system prototype are presented.

Key words: printed circuit board, vibration testing, electronic devices.

Введение

Электронные устройства на основе печатных плат давно используются в автомобилестроении, авиастроении, а также в космической технике. Эксплуатация таких устройств в таких системах связана со значительными знакопеременными нагрузками. Даже тщательно спроектированная и качественно собранная электроника может выйти из строя. Дефект одного из узлов печатной платы, в частности, отслоение контактной площадки или обрыв печатного проводника может привести к серьезным последствиям, как и повреждение установленных на плате электронных компонентов.

Чтобы минимизировать риск возникновения поломок, должны быть выявлены скрытые дефекты до массового производства. Одним из важнейших этапов экспериментальной отработки радиоэлектронных устройств являются вибрационные испытания [1]. По результатам этих испытаний выдаются заключения о вибропрочности изделий. Виброиспытаниям должны подвергаться все создаваемые и модернизируемые конструкции, прочностные характеристики и условия штатного нагружения которых отличаются от характеристик изделий, находящихся в эксплуатации. Испытание проводят с целью проверить способность печатных плат выполнять свои функции в условиях механических ударов многократного действия.

Постановка проблемы

В настоящее время все чаще изготавливаются многослойные печатные платы, реже двухслойные и очень редко однослойные. Это позволяет уменьшить габариты платы и увеличить плотность монтажа монтируемых компонентов, которые в свою очередь устанавливаются методом поверхностного монтажа. Даже без воздействия вибрации и температуры корпуса электронных компонентов подвержены деформации при пайке.

На платы в процессе эксплуатации воздействуют удары, вибрации и статические нагрузки. При повышенных нагрузках на плату наблюдается нарушения целостности паяных соединений, их отслоения и отрывы от основы-стеклотекстолита. Особенно это касается наиболее больших по площади компонентов, например, с корпусами типа BGA. При проектировании печатной платы необходимо учитывать места установки таких компонентов с учетом механических характеристик платы.

В зависимости от методов производства печатной платы и способов монтажа электронных компонентов, далеко не каждое устройство способно выдерживать вибрации. Для возможности введения устройства в эксплуатацию необходимо проводить тестирования на виброустойчивость.

Для испытаний применяют вибрационные установки, обладающую широким частотным диапазоном [2]. В процессе испытаний проводят контроль параметров с учетом критериев годности изделия.

На вибрационных установках используют различные типы датчиков параметров колебаний электронных плат или возбудителей колебаний.

В рассматриваемой системе используется теневой оптический датчик колебаний [3,4], который позволяет проводить как обычные вибрационные испытания электронных плат, так и комплексные испытания с одновременным нагревом либо охлаждением.

Описание системы

Система состоит из электродинамического вибростенда, датчика вибрации, усилителя мощности и микроконтроллера, который выполняет функции задающего генератора, фильтра и ПИ регулятора.

Работа системы происходит следующим образом: микроконтроллер моделирует синусоидальный сигнал определенной частоты, как правило, близкой к резонансной, этот сигнал поступает на усилитель мощности и затем на электродинамический вибростенд, который передает вибрации на испытуемый объект. Колебания объекта считывает датчик вибрации и этот сигнал поступает на аналоговый вход микроконтроллера. Данный сигнал фильтруется благодаря алгоритмам микроконтроллера и сравнивается с сигналом смоделированной синусоиды, таким образом происходит поиск резонансной частоты объекта в режиме испытаний.

Первичный поиск резонансной частоты и гармоник объекта производится подачей прямоугольного импульса на вибростенд и дальнейшего считывания сигнала с датчика колебаний. Это важный шаг, который позволяет определить резонансную частоту объекта, а также определить наличие гармоник.

Структурная схема системы



Рисунок 1 – Функциональная схема самонастраивающейся системы

Большие возможности микроконтроллера (МК) позволяют ему выполнять функции задающего, сравнивающего и управляющего (корректирующего) устройства, а также позволяют использовать его для вычисления регулируемой величины или некоторого косвенного критерия качества регулирования.

Основными программными блоками МК являются блок задающего генератора (ЗГ), управляемого по частоте, и блок пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора. Квазигармонический сигнал, формируемый ЗГ, через 14-разрядный ЦАП поступает на вход опорного напряжения перемножающего ЦАП, на цифровые входы которого поступает код с выхода ПИ-регулятора (на рис. 1 не показаны).

Первая серия экспериментов

Для проведения первичного эксперимента и сбора данных был собран прототип системы. В систему входит электродинамический вибростенд, инфракрасный излучатель, приемник инфракрасного излучения, усилитель мощности и устройство управления в виде микроконтроллера STM32F407.

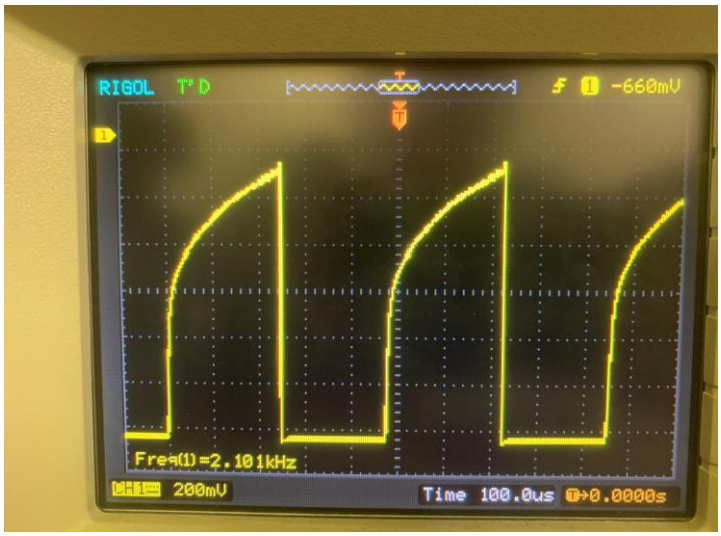


Рисунок 2 – Модуляция сигнала на инфракрасном излучателе



Рисунок 3 – Сигнал на выходе оптического датчика вибрации

Для первой серии эксперимента была написана программа, моделирующая синусоидальный сигнал с изменяющейся частотой. Микроконтроллер STM32F407 имеет встроенный цифро-аналоговый преобразователь.

Был проведен первичный запуск системы. Резонансная частота колебаний объекта оказалась в районе 120 Гц.



Рисунок 4 – Резонанс объекта при частоте 120 Гц

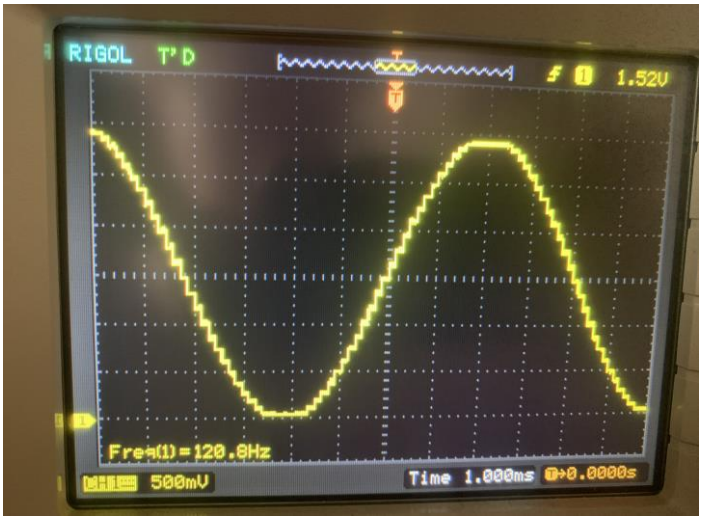


Рисунок 5 – Сигнал на выходе цифро-аналогового преобразователя микроконтроллера



Рисунок 6 – Форма сигнала при приближении объекта к резонансной частоте

Из-за помех на выходе датчика линейных перемещений сигнал необходимо фильтровать для дальнейшей работы с ним, так как в случае многорезонансного объекта могут быть пропущены некоторые гармоники.

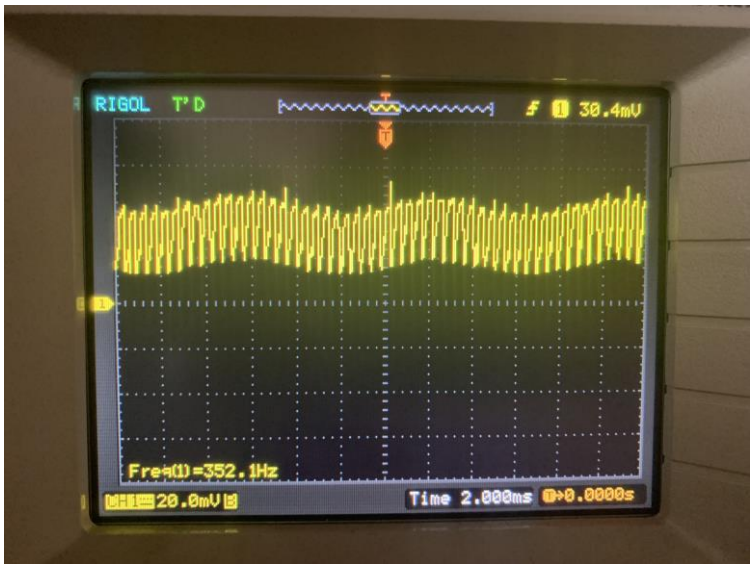


Рисунок 7 – Форма сигнала при отдалении от резонансной частоты

Эксперимент показал, что шаг по частоте уменьшается при уменьшении частоты и увеличивается с ее увеличением. Это связано с таймером, который переключает фреймы при моделировании сигнала. В случае с частотами от 100 до 200 Гц шаг составил примерно 0.02 Гц, когда при частотах от 900 до 1000 Гц уже 0.3 Гц. Шаг можно уменьшить, уменьшив количество фреймов, в данный момент их 64 на полный период. Из-за этого синусоида может получиться с повышенным шагом дискретных отчетов. Решением данной проблемы может служить использование внешнего цифроаналогового преобразователя для получения одинакового количества шагов на 1 Гц, тем самым сделав поиск резонансной частоты точнее.

Заключение

Система показала свою работоспособность. Были получены первые экспериментальные данные и сделаны выводы:

- шаг по частоте задающего генератора составил 0.3 Гц на частотах в районе 1000 Гц;
- эксперимент показал, что в систему необходимо добавить внешний цифро-аналоговый преобразователь для уменьшения дискретности синусоидального сигнала;
- необходимо добавить фильтры после выходного сигнала с датчика колебаний для уменьшения шума.

Литература

1. Robin Alastair Amy, Guglielmo S. Aglietti, Guy Richardson, «Анализ надежности электронного оборудования, подвергнутого удару и вибрации — обзор», Shock and Vibration 16 (2009), pp. 45–59.
2. «Оценка виброустойчивости и вибропрочности печатных плат с помощью системы управления виброиспытаниями ZET 028», Журнал “ИСУП” № 1(91)_2021, С. 143-145.
3. Палагута К.А., Шаталов Д.А., Груненков Н.В., «Разработка и исследование теневого оптического датчика для усталостных вибрационных испытаний», В сборнике: Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Сборник научных статей 5-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Редколлегия: А.А. Горохов. 2020. С. 208-211.
4. Груненков Н.В., Палагута К.А., «Моделирование работы системы поиска резонансной частоты на микроконтроллерах ATMEGA328P», В сборнике: Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции. под.ред. С.У.Увайсов. Москва, 2020. С. 225-230.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ВИНТОМОТОРНОЙ ГРУППЫ В БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ: АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Исмагилов Ф.Р., Галиев Р.Д., Кильметов Р.А., Иванов М.В., Зайцев В.Е.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
+7 (917) 485-84-83, ramagaliev@yandex.ru

В данной статье рассматривается роль и значение силовой установки в различных типах беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и их применение в различных областях. Анализируются различные типы силовых установок, их характеристики и влияние на функциональность и маневренность аппаратов.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, системы управления, пропеллерная группа, шарниры, области применения.

Research and Application of Propeller Group in Unmanned Aerial Vehicles: Analysis and Prospects. Galiev R.D., Kilmetov R.A., Ivanov M.V., Zaitsev V.E..

This article discusses the role and importance of propulsion systems in different types of unmanned aerial vehicles (UAVs) and their application in various fields. Different types of propulsion systems, their characteristics and their impact on the functionality and maneuverability of the vehicles are analyzed.

Keywords: unmanned aerial vehicles, control systems, propeller group, hinges, applications.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали неотъемлемой частью современных технологий, находя применение в различных отраслях, включая геодезию, аэрофотосъемку, поисково-спасательные операции и многое другое. Одним из ключевых компонентов, обеспечивающих функциональность и маневренность БПЛА, является винтомоторная группа. В данной статье рассматривается применение винтомоторной группы в системах управления БПЛА различных типов и размеров, включая самолеты, вертолеты, квадрокоптеры, беспилотники и другие.

Двигательная группа - это сложный механизм, состоящий из пропеллера и двигателя, который обеспечивает подъемную силу и управление полетом БПЛА. Она является ключевым элементом системы управления и определяет маневренность и эффективность полета летательного аппарата.

Основные принципы работы винтомоторной группы

Винтомоторная группа в БПЛА состоит из нескольких ключевых модулей, включая двигатель, пропеллер и шарниры. Она обеспечивает подъемную силу и управление полетом аппарата. Двигатель является источником энергии для вращения винта. Он создает тягу, необходимую для подъема и удержания аппарата в воздухе. Винт, в свою очередь, создает подъемную силу и управляет полетом БПЛА. Шарниры и механизмы управления позволяют изменять угол атаки пропеллера и его ориентацию, обеспечивая маневренность и устойчивость полета.

Управление винтомоторной группой осуществляется несколькими методами. Автопилот- это программируемая система управления, которая контролирует работу винтомоторной группы на основе заранее заданных параметров и команд. Панель управления – это основной интерфейс для оператора, позволяющий в реальном времени управлять силовой установкой. Датчики и обратная связь используются для контроля параметров полета и корректировки работы силовой установки.

Компоненты винтомоторной группы работают вместе для обеспечения оптимальной работы силовой установки управления полетом БПЛА. Они обеспечивают устойчивость, маневренность и безопасность полета, что делает силовую установку одной из ключевых систем управления БПЛА. [1, 2]

Обзор беспилотных летательных аппаратов с использованием винтомоторной группы

Рассмотрим различные типы БПЛА, использующие винтомоторные группы, и их отличительные особенности, уделяя особое внимание ВМГ и различным типам шарниров.

1. БПЛА самолетного типа Parrot disco:

• ВМГ: Включает один пропеллер, который обеспечивает подъемную силу и продольное управление.

• Шарниры: Шарниры с одной степенью свободы (осевой шарнир) обычно используются для управления направлением полета.



Рисунок 1 – БПЛА самолетного типа Parrot disco

Управлять летательным аппаратом гораздо легче, чем может показаться на первый взгляд. Функция автопилота исправляет большинство ошибок, совершаемых новичками. Бортовые датчики и гироскоп поддерживают стабильность самолета. Disco, благодаря своей аэродинамической конструкции, хорошо справляется с порывами ветра. В отличие от коптеров, для которых ветер - враг, самолет часто использует его подъемную силу. [3, 4]

2. БПЛА Вертолетного типа AVDJI Matrice 300 RTK:

• ВМГ: Включает несколько пропеллеров для обеспечения вертикального подъема и маневрирования в воздухе.

• Шарниры: Используются шарниры с несколькими степенями свободы, позволяющие изменять угол наклона пропеллеров для изменения направления полета и поворотов.

Обновленное программное обеспечение Accusync обеспечивает передачу данных на расстояние до 15 км и поддерживает передачу трехканального видео в формате 1080p. Если полеты выполняются вблизи объектов с высоким уровнем помех, система автоматически переключается между частотными каналами 2,4-2,483 ГГц. В то же время, благодаря системе шифрования AES-256, при передаче данных поддерживается высокий уровень безопасности.



Рисунок 2 – БПЛА Вертолетного типа AVDJI Matrice 300 RTK

Квадрокоптер оснащен не только датчиками двойного зрения, но и датчиками времени полета, что гарантирует максимальный уровень обнаружения препятствий в диапазоне до 40 м. Кроме этого, вы можете регулировать чувствительность датчиков коптеров с помощью приложения DJI Pilot. [5]

3. БПЛА коптерного типа (квадрокоптер) DJI Phantom 4 Pro:

• ВМГ: Включает четыре винта, расположенные по углам квадрата, обеспечивающие вертикальный подъем, горизонтальное перемещение и повороты.

• Шарниры: Шарниры с одной степенью свободы применяются для изменения угла наклона винтов и управления направлением полета.

Летать стало еще безопасней с системой FlightAutonomy, усиленной новыми двойными оптическими сенсорами, расположенными на задней части летательного аппарата, и двумя инфракрасными датчиками. Теперь дрон способен обнаруживать препятствия в 5 направлениях и избегать столкновений в 4.



Рисунок 3– БПЛА коптерного типа (квадрокоптер) DJI Phantom 4 Pro

Каждый из этих типов беспилотных летательных аппаратов имеет свои преимущества и области применения в различных областях. ВМГ и использование различных типов изменений позволяют достичь оптимальной маневренности и управляемости в каждом типе беспилотника. [6]

4. Мультироторный БПЛА Yuneec Typhoon H Pro:

• ВМГ: включает в себя несколько экранов, расположенных на разных поверхностях рулевого управления (обычно на судне или восьми винтах). Это позволяет выполнять вертикальный подъем, горизонтальное перемещение и повороты в воздухе.

• Шарниры: Многороторные беспилотные летательные аппараты также используют устройства с одной степенью свободы для изменения угла наклона пропеллеров и управления направлением полета. Шарниры обеспечивают маневрирование и точное управление полетом.



Рисунок 4 – Мультироторный БПЛА Yuneec Typhoon H Pro

Typhoon H Pro обладает большой мощностью, потому что у него 6 лопастей несущего винта. Это означает, что в H Pro были добавлены дополнительные 2 лопасти ротора. Предыдущие версии имели 4 лопасти несущего винта. Лопасти несущего винта с 6 лопастями позволяют дрону продолжать парить в воздухе, даже если есть проблемы с двигателем. Несмотря ни на что, лопасти с 6 лопастями не могут выйти из строя одновременно. Таким образом, Typhoon H Pro обеспечивает высокий уровень безопасности.

Вариации в типах "БОЛЬШОЙ" и "шарнирный" позволяют достичь различных летных характеристик, маневренности и управляемости. Это позволяет выбрать наиболее подходящий тип беспилотника в зависимости от требований и конкретного применения: съемка, геодезия, спасательные операции или другие задачи. [7]

Роль шарниров в различных типах БПЛА с винтово-моторной группой

Шарниры играют важную роль в обеспечении функциональности и маневренности различных типов беспилотных летательных аппаратов, использующих винтокрылую группу. Рассмотрим роль изменений в каждом из четырех типов: самолетного, вертолетного, квадрокоптерного и мультироторном коптере.

1. В самолетных типах беспилотных летательных аппаратов шарниры используются для управления аэродинамическими поверхностями, такими как рули высоты, рули направления и элероны. Они обеспечивают свободное и плавное перемещение этих поверхностей, позволяя вам управлять подъемной силой, направлением и креном самолета.

2. В беспилотных летательных аппаратах вертолетного типа шарниры особенно важны для управления вращением лопастей несущего винта. Шарниры позволяют вертолету изменять высоту, направление движения и маневренность.

3. Квадрокоптеры имеют четыре несущих винта, каждый из которых имеет свой собственный шарнир. Шарниры позволяют изменять угол атаки роторов и регулировать скорость их вращения. Это позволяет квадрокоптеру изменять высоту полета, совершать повороты и выполнять другие маневры.

4. Вертолеты мультироторного типа: Шарниры в мультироторном беспилотном летательном аппарате Yuneec Typhoon H Pro позволяют управлять наклоном и поворотами дрона вокруг продольной, поперечной и вертикальной осей. Это дает пилоту возможность точно и плавно управлять полетом, включая изменение направления, маневрирование и стабилизацию транспортного средства в различных условиях.

В каждом из этих типов боевых действий шарниры выполняют важную функцию обеспечения управляемости, устойчивости полета и маневренности. Они позволяют управлять движением аэродинамических поверхностей или несущих винтов, влияя на управляемость и поведение беспилотника в воздухе. [8, 9]

Применение винтомоторной группы в различных сферах

Ниже приведена исправленная таблица, показывающая использование пропеллерной группы в различных областях для описанных типов беспилотных летательных аппаратов:

Таблица 1 – сферы применения различных типов БПЛА

Сфера применения	Типы БПЛА
Геодезия	DJI Phantom 4 Pro, DJI Matrice 300 RTK
Аэрофотосъемка	DJI Phantom 4 Pro, Yuneec Typhoon H Pro
Поисково-спасательные операции	DJI Matrice 300 RTK
Развлечение и спорт	Parrot Disco

Эти БПЛА с винтомоторной группой применяемые в этих сферах деятельности и обладают определенными функциональными особенностями, которые позволяют им выполнять различные задачи. [10]

Заключение

Исследование винтомоторной группы в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) включает обзор и анализ основных принципов функционирования, роли шарниров и примеров ее применения в различных областях.

Анализируя перспективы использования винтомоторной группы в беспилотных летательных аппаратах, можно сказать, что данная технология обладает значительным потенциалом для дальнейшего развития. Оптимизация винтомоторной группы, включая модификацию винтов и внедрение управляющих плат, может способствовать повышению эффективности и оптимизации летных характеристик беспилотного летательного аппарата. Дальнейшие разработки и исследования в этой области могут привести к созданию более совершенных и функциональных беспилотных летательных аппаратов, способных эффективно выполнять широкий спектр задач.

Представленный обзор и анализ группы винтомоторной группы в БПЛА является важным шагом в исследовании и разработке данной технологии.

Литература

1. Аэродинамика. Винтомоторная группа. // Geoscan URL: https://docs.geoscan.aero/ru/master/database/const-module/vmg/aero-vmg.html (дата обращения: 20.06.2023).

2. Р.А.ПАВЛОВ МАЛЫЙ БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ (ПЛАТФОРМА) С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ // ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ. - Коломна: 2016. - С. 217-222.

3. PRESENTATION OF THE PARROT DISCO // Parrot Disco URL: https://www.parrot.com/en/support/documentation/disco-range (дата обращения: 23.06.2023).

4. Дрон-самолет Parrot Disco FPV с аккумулятором повышенной емкости // DronGeek Все о квадрокоптерах. Обзоры электроники и гаджетов. Лучшие товары для дома. URL: https://drongeek.ru/obzory/parrot/disco (дата обращения: 23.06.2023).
5. Квадрокоптер DJI Matrice 300 RTK // Русгеоком URL: https://ekb.rusgeocom.ru/products/kvadrokopter-dji-matrice-300-rtk?roistat=direct14_search_10724275015_matrice%20300%20rtk&roistat_referrer=none&roistat_pos=premium_1&etext=2202.kdYpZM0UOS9kR2lVn8U7N-M6aAnnxsB_F_Tis62wJnV6eXZ6ZWx5dWx5aHdxbmdu.4103c98e75db8a1ee43af699bc5c4f2f87cccf94 (дата обращения: 01.07.2023).
6. Phantom-4-pro // Dji-rus URL: https://dji-rus.ru/phantom-4-pro/ (дата обращения: 20.06.2023).
7. Обзор Yuneec Typhoon H Pro // Yuneec electrical aviation URL: https://yuneecrussia.ru/obzor-typhoon-h-realsense/ (дата обращения: 05.07.2023).
8. Двухосевой или трехосевой карданный шарнир на дроне // DRONES & CAMERAS Best Drones & Cameras in 2022 URL: https://drones-camera.com/ru/2-axis-vs-3-axis-gimbal/ (дата обращения: 10.07.2023).
9. Типы беспилотных летательных аппаратов. Обзор. // AVIATEST AERO URL: https://aviatest.aero/articles/tipy-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-obzor/ (дата обращения: 12.07.2023).
10. Сферы применения беспилотных летательных аппаратов // Geoscan URL: https://docs.geoscan.aero/ru/master/database/base-module/sphere/sphere.html (дата обращения: 12.07.2023).

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОСАДКИ КРИСТАЛЛА МОЩНОГО ТРАНЗИСТОРА НА ОСНОВАНИЕ КОРПУСА С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Шахмаева А.Р., Казалиева Э.
Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия
+7 (928) 528-61-63, kazanova.em@mail.ru

Аннотация. Разработана технология посадки кристаллов полупроводниковых транзисторов к основанию выводной рамки в процессе сборки полупроводниковых приборов с использованием легкоплавкого припоя. Представлена методика обработки обратной стороны кремниевых транзисторных структур с применением карбидокремниевого песка перед процессом напыления металлов с целью улучшения адгезионных свойств поверхности для формирования прочного контакта к коллекторной области транзистора.
Ключевые слова: кристалл, кремниевая структура, припой, карбид кремния, песок, контакт, транзистор.

Development of technology for planting a high-power transistor crystal on the base of the case with improved characteristics. Shakhmayeva A.R., Kazalieva E., Dagestan State Technical University

Annotation. A technology has been developed for planting semiconductor transistor crystals to the base of the output frame during the assembly of semiconductor devices using low-melting solder. A technique for processing the reverse side of silicon transistor structures using silicon carbide sand before the metal spraying process is presented in order to improve the adhesive properties of the surface to form a strong contact to the collector region of the transistor.
Keywords: crystal, silicon structure, solder, silicon carbide, sand, contact, transistor.

Введение

Получение кристаллов мощного полупроводникового транзистора с надёжными и эксплуатационными параметрами зависит от технологии его изготовления. Одним из главных технологических циклов в процессе изготовления мощных транзисторов является процесс посадки кристалла транзистора на основание корпуса.

Качество присоединения кристаллов мощных транзисторов в процессе сборки полупроводникового прибора в корпус характеризуется тепловым сопротивлением. Эксплуатационная надежность прибора повышается благодаря низкому тепловому сопротивлению. В процессе посадки кристаллов транзисторных структур, часто появляются невидимые дефекты, такие как трещины, пустоты, которые способствуют возрастанию теплового сопротивления.

Метод посадки кристалла мощного транзистора должен обеспечивать надежную прочность соединения, низкое тепловое сопротивление контакта и максимальный отвод тепла.

Методы исследования

Для получения требуемой бездефектной поверхности перед процессом посадки, был предложен метод обработки поверхности обратной стороны кремниевой транзисторной структуры с использованием карбидокремниевого песка на аппарате пескоструйной обработки поверхности. В качестве материала использовался кремний (SiC) с диаметром песчинок менее 6 мкм.

Обработка проводилась на аппарате DBS-200 (рис. 1), функция которой заключалась в подаче струи песка на обратную сторону кремниевой транзисторной структуры, на вращающемся столе установки. Условия обработки заключаются в том, что песок карбида кремния распыляется на поверхность кремниевой транзисторной структуры на фиксированном расстоянии.

Эксперименты [1-2] показали, что разброс толщины пластины составляет не более 2,0 мкм, дефекты в виде сколов, микротрещин отсутствуют, а поверхность имеет хорошую адгезию. Критерием выбора необходимых режимов обработки поверхности являлась шероховатость обрабатываемой поверхности заготовки Ra, мкм.

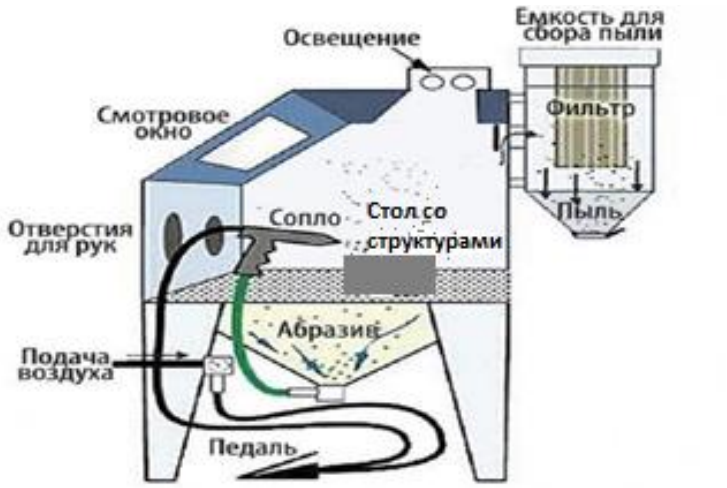


Рисунок 1 – Установка пескоструйной обработки DBS-200

Для получения достоверных результатов и определения режимов обработки (рис.2), достаточных для получения качественной поверхности, были проведены экспериментальные измерения профилей обработки с использованием профилометра марки Alpha-Step.

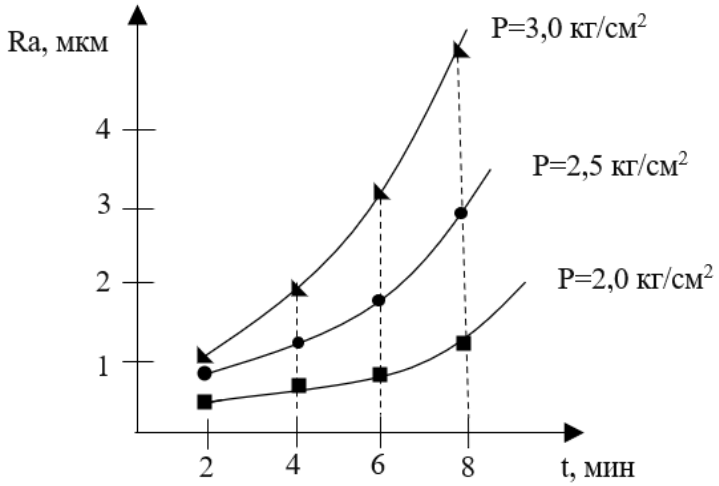


Рисунок 2 – Влияние режимов обработки поверхности на показатель шероховатости обработанной поверхности

Параметрами, влияющими на процесс обработки и получение приемлемой шероховатости, являются следующие: скорость вращения стола (V, об/мин), расстояние от сопла до поверхности пластины (d, см), время обработки (t, мин) и давление при подаче воздуха через сопло (P, кг/см^2). При этом скорость вращения стола (V, об/мин) и расстояние от сопла до поверхности пластины (d, см) не изменялись в процессе обработки и составляли для всех экспериментов: V=15 об/мин и d=15 см.

При увеличении времени обработки и давления, шероховатость поверхности (Ra, мкм) обрабатываемой кремниевой транзисторной структуры увеличивалась. Для качественной адгезии необходимым условием является получение шероховатости (Ra, мкм) в пределах от 1,5 мкм до 2,5 мкм.

Известны способы посадки кристаллов мощных полупроводниковых приборов проводимые отечественными (Аносов В.С., Гомзиков Д.В., Зенин В.В. и др.) и зарубежными авторами (Wang G.X., Forman R. S., Khanna V. и др.) с использованием автоматизированных линий, исключающие недостатки операций сборки в среде водорода [4-5]. Однако данные исследования не предполагают исследования процесса посадки кристалла на автоматизированной линии с применением импортного припоя и замены его на отечественный, с целью получения качественного надежного паяного соединения без пустот и оксидных включений с улучшением теплоотвода. Одним из таких автоматизированных линий сборки является автомат фирмы "ESEC", на котором и были проведены исследования процесса посадки кристалла транзистора.

Процесс работы данной линии, следующий: производится посадка кристаллов на выводную рамку ТО-218, с использованием припоя ПОС-5 [6-7]. В процессе пайки движение кристалла происходит по траектории амплитуды вибраций (рис. 3).

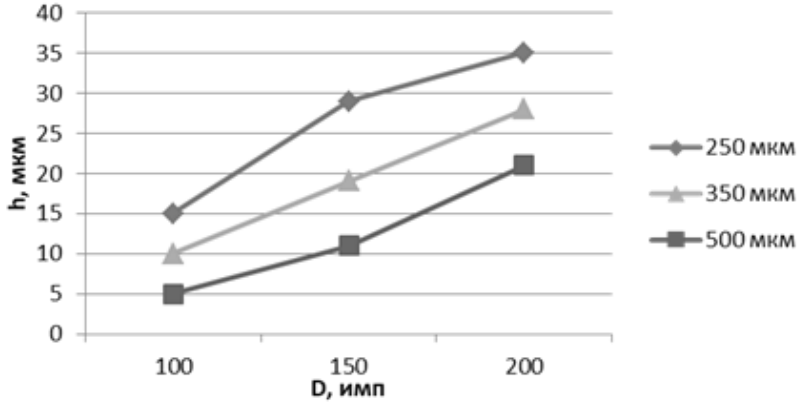


Рисунок 3 – Зависимость толщины припоя (h) под кристаллом от дозы припоя (D) при различной амплитуде вибраций

Полученные результаты показали, что при D=100 импульсов выход годных – 93–94%, а при D=150 импульсов – 96–98%. В данном случае, площадь с пустотами на кристалле равен 25-30 % площади структуры кристалла. Такая тепловая нестабильность приводит к перегреву кристалла и увеличению теплового сопротивления (табл. 1).

Таблица 1 – Зависимость толщины припоя (h) под кристаллом от дозы припоя (D) при различной амплитуде вибраций

Толщина припоя (мкм)	Доза припоя (имп)	Амплитуда вибраций (мкм)	% выхода годных	Описание структуры паяного соединения
15	100	250	93-94	отсутствует сплошное паяное соединение
19-20	150	350	96-97,8	образует паяное соединение с небольшими дефектами
22-30	200	500	96-98	образует бездефектное паяное соединение
> 30	150	250	88-94	образуются локальные участки с пустотами

Если амплитуда вибраций по значениям превышает 500 мкм, то происходит эффективное растекание припоя за пределы активной структуры (рис. 4).



а) б)

Рисунок 4 – Качество паяного соединения кристалла под рентгеновским микроскопом: а - 100-250 мкм, б - 350-500 мкм

При толщине припоя под кристаллом 22–30 мкм (рис. 5) и амплитуде вибраций 350-500 мкм, тепловое сопротивление достигает достаточных значений.

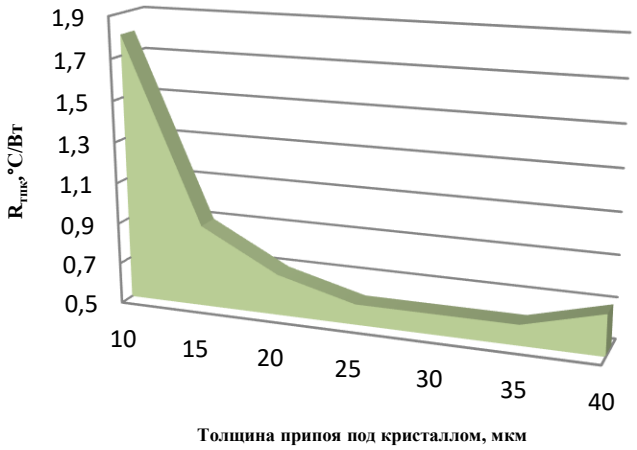


Рисунок 5 – Зависимость переходного теплового сопротивления от толщины припоя

Данная технология посадки кристаллов, приводит к снижению переходного теплового сопротивления и повышению качества метода присоединения кристаллов.

На параметры качества и надежности прибора большое значение оказывает и температура присоединения кристалла в процессе сборки прибора (рис 6).

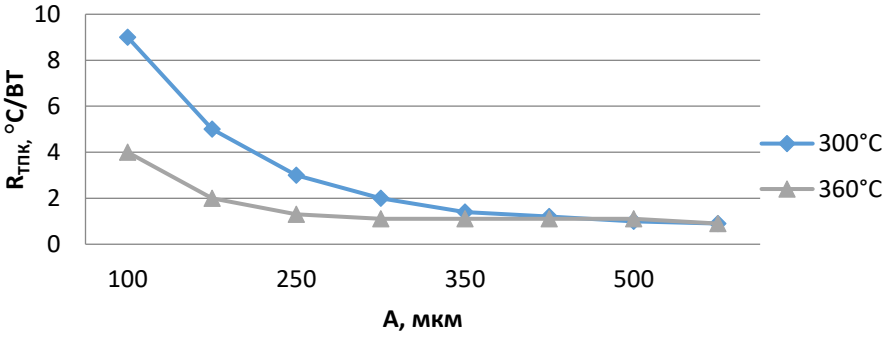


Рисунок 6 – Влияние режимов посадки кристаллов на значение теплового сопротивления

При температурах до 300°C тепловое сопротивление возрастает из-за неполного удаления окислов под кристаллом, а при температуре до 360°C, и амплитуде вибраций 350-500 мкм происходит эффективное удаление окислов из зоны посадки кристаллов.

Заключение

Разработан технологический маршрут сборки структуры кристаллов мощных транзисторов на автомате «ESEC». Данная технология способствует получению качественной посадки кристаллов транзисторов, формированию равномерного распределения припоя по поверхности кристаллов, исключающие в дальнейшем пустоты, непропаи, сколы, трещины, напряжения, что способствует к снижению теплового сопротивления и к выходу годных до 98%.

Литература

1. Пичугин И.Г., Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых приборов. М: Высшая школа, 1984. - 287.
2. Шахмаева А.Р., Кардашова Г.Д., Казалиева Э. и др. Технология пескоструйной обработки кремниевой пластины при изготовлении полупроводниковых транзисторов // Надежность. 2022. №4. С. 23-27. https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-4-23-27.
3. Ньюман П. Эффективность преобразования и совершенствование технологий силовых модулей // Компоненты и технологии. 2008. № 3 (80). С. 136-138.
4. Аносов В.С., Гомзиков Д.В., Ичетовкин М.И., Сейдман Л.А., Тычкин Р.И. Исследование процессов пайки кремниевых кристаллов мощных транзисторов в их корпуса // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2017. Т. 20. № 1. С. 51-59.
5. Khanna V. K. IGBT. Theory and Design. N.Y., IEEE Press, 2005.
6. Иванов П.А., Челноков В.Е. Полупроводниковый карбид кремния – технология и приборы, обзор // Физика и техника полупроводников. 1995. Т. 29. № 11. С. 1921–1943.
7. Шахмаева А.Р., Казалиева Э. Разработка технологии посадки кристалла транзистора на основание корпуса // Проектирования и технология электронных средств. 2022. № 3. С. 3-6.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ЗАКАЗЧИКОМ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ НА СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Киров А.В.
«МИРЭА – Российский технологический университет» РТУ МИРЭА
+7 (926) 027-47-07, glarbb@mail.ru

Основной задачей системы управления жизненным циклом продукции является управление качеством продукции на стадиях жизненного цикла. Важными составляющими при этом является расчет показателей качества и надежности продукции. На данный момент разработаны и реализуются различные методики расчетов отдельных показателей и оценки результативности системы управления качеством продукции. В данной работе предлагается методический подход к оценке удовлетворенности заказчиком качеством продукции на стадиях жизненного цикла продукции, важными составляющими, которого является анализ учета видов дефектов продукции.
Ключевые слова: жизненный цикл, продукция, качество, заказчик, дефект

Methodology for assessing customer satisfaction with product quality at the stages of the life cycle. Kirov A.V., MIREA - Russian technological university (RTU MIREA)
The main task of the product lifecycle management system is product quality management at the stages of the life cycle. Important components in this case are the calculation of indicators of quality and reliability of products. At the moment, various methods of calculating individual indicators and evaluating the effectiveness of the product quality management system have been developed and are being implemented. In this paper, we propose a methodological approach to assessing customer satisfaction with product quality at the stages of the product life cycle, important components of which are the analysis of accounting for types of product defects.Ключевые слова: жизненный цикл, продукция, качество, заказчик, дефект
Key words: life cycle, products, quality, customer, defect.

В настоящее время разработаны и реализуются различные методики оценки результативности и эффективности системы управления качеством продукции [1-3]. Для предприятий оборонно-промышленного-комплекса разработана и внедрена методика оценки результативности СМК в рамках системы добровольной сертификации «Военный Регистр». Данная методика в числе прочих показателей предусматривает расчет показателей, характеризующих удовлетворенность потребителей (заказчиков) качеством выпускаемой продукции. В указанных методиках рассматривается не общая удовлетворенность заказчика, а только удовлетворенность качеством выпускаемой предприятием продукции, которая учитывает следующие критерии:

– доля продукции, сданной с первого предъявления представительству заказчика;

– доля продукции, на которую не получены рекламации, в общем числе сданной продукции;
– доля продукции, на которую от заказчика не получены несоответствия, не оформленные в виде;
– рекламаций, но признанные предприятием, в общем числе сданной продукции.

Данный общий подход не учитывает при проведении оценки виды дефектов продукции, имеющие важную роль в удовлетворенности заказчиком качеством продукции, что соответственно предлагается устранить в представленной методике.

В связи с этим, необходимо отметить, что анализ удовлетворенности для заказчиков с использованием представленной методики должен являться не просто формальным требованием, а служить реальным инструментом оценки качества продукции и непрерывного ее совершенствования.

Показатели, используемые для оценки, должны базироваться на объективной исходной информации о качестве продукции и, следовательно, обладать высокой степенью достоверности и чувствительности к изменениям параметров.

Для расчета показателей, характеризующих удовлетворенность заказчика в разработанной методике, предлагается использование следующей информации:
- общее количество принятых рекламаций,
- принятые рекламации на поставленную продукцию;
- количество конструктивных, производственных дефектов;
- удовлетворение принятых рекламаций.

Оценку удовлетворенности качеством продукции заказчикам предлагается производить по трем основным критериям, определенным в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели

№ п/п	Обозначение критерия	Содержание критерия	Коэффициент значимости критерия (α)
1	C_1	Характеризует соответствие изделий заданным требованиям качества	0,5
2	C_2	Характеризует распределение изделий по характеру дефектов	0,25
3	C_3	Характеризует соблюдение установленных сроков восстановления изделий	0,25

Показатель C_1, характеризующий долю поставленных изделий, соответствующих заданным требованиям, в общем количестве поставленных изделий, рассчитывается по формуле:

$$C_{1i} = 1 - \frac{Wr_i}{W_i} \quad (1)$$

где Wr_i - количество поставленных изделий, на которые приняты рекламации;

W_i – количество поставленных изделий.

Следующий показатель C_2 предлагается рассчитывать с учетом видов дефектов, а именно:
- конструктивный - C_{2k};
- производственный - C_{2p}:
- дефекты сырья и материалов, комплектующих изделий - C_{2s}:
- деградационный дефект - C_{2d}:.

Показатель C_{2k} рассчитывается по формуле:

$$C_{2ki} = \frac{Dk_i}{D_i} \quad (2)$$

где Dk_i – количество конструктивных дефектов изделия, выявленных по результатам анализа актов исследования принятых рекламаций/

D_i – общее количество дефектов изделия, выявленных по результатам анализа актов исследования принятых рекламаций.

Показатель $C_{2\,p}$ рассчитывается по формуле:

$$C_{2pi} = \frac{Dp_i}{D_i} \quad (3)$$

где Dp_i - количество производственных дефектов изделия, выявленных по результатам анализа актов исследования принятых рекламаций/

Показатель C_{2s} рассчитывается по формуле:

$$C_{2si} = \frac{Ds_i}{D_i} \quad (4)$$

где Ds_i - количество сырья и материалов, комплектующих изделий, выявленных по результатам анализа актов исследования принятых рекламаций

Показатель C_{2g} рассчитывается по формуле:

$$C_{2gi} = \frac{Dg_i}{D_i} \quad (5)$$

где Dg_i - количество деградационных, выявленных по результатам анализа актов исследования принятых рекламаций.

В итоге показатель C_2 для всех видов изделий, находящихся на гарантийном обслуживании, рассчитывается по формуле:

$$C_{2i} = 1 - (C_{2ki} + C_{2p_i} + C_{2si} + C_{2g_i}) \quad (6)$$

Показатель C_3 «Соблюдение установленных сроков восстановления изделий» предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$C_{3i} = 1 - \frac{Rn_i}{R_i} \quad (7)$$

где Rn_i - количество рекламаций на изделия, удовлетворенных с нарушением порядка и сроков восстановления (по результатам анализа актов исследования полученных рекламаций);

R_i – количество рекламаций на изделия.

Если за исследуемый период не было принятых рекламаций, то C_3 принимается равным 1.

Так как составляющие интегрального показателя не являются равными по значимости, то для его оценки применяется средневзвешенная оценка по формуле:

$$Cz = \sum_{i=1}^{3} C_i * \alpha_i \quad (8)$$

где C_i - значения i-го составляющего показателя, определяющего интегральный показатель;

α_i - весовой коэффициент составляющего показателя Cz, приведенный в Таблице 1.

Отметим, что значение весового коэффициента может определяться методом экспертных оценок группы специалистов по качеству.

Интерпретация значений итогового показателя удовлетворенностью качеством продукции заказчиком приведена в Таблице 2.

Таблица 2–оценки эффективности системы

Полученная количественная оценка	Качественная оценка полученного значения
$C_z < 0{,}70$	недопустимая
$0{,}70 < C_z < 0{,}90$	допустимая
$C_z > 0{,}90$	высокая

Используя градацию качественной оценки рассчитанного интегрального показателя, делается вывод об удовлетворенность качеством производимой продукции заказчиком.

Разработанная методика дает возможность заказчику установить сильные и слабые стороны процессов производства продукции на предприятиях с учетом анализа по видам дефектов. Применение разработанного методического подхода позволяет заказчику отслеживать уровень качества продукции и своевременно принимать предупреждающие и корректирующие действия по предупреждению появления дефектов и неисправностей на стадиях жизненного цикла продукции.

Необходимо отметить, что современные прикладные программные средства дают возможность автоматизировать разработанную методику для практического применения [4-5].

Литература

1. Методика оценки результативности СМК организаций. — М.: СДС «Военный регистр», 2012. – 17 с.;

2. Куликовский С.А. Выбираем методику оценки результативности СМК. Руководство к действию // Методы менеджмента качества. – 2016. – № 5 – С. 12-17;

3. Kirov A. V. Methodology for assessing the effectiveness of the product quality management system at the stages of the life cycle // Innovative Information 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. Zhukovsk. – 2021. – P. 128-132;

4. Фурсов С.А., Киров А.В. Основные подходы автоматизации оценки результативности СМК предприятия - производителя радиоэлектронной аппаратуры // Материалы Международной научно-технической конференции INTERMATIC – 2017, М.: МИРЭА. – 2017, ч. 1. – С. 1326-1329;

5. Фурсов С.А., Киров А.В. Оценка результативности системы менеджмента качества на основании статистических данных с использованием программных средств // Современные наукоемкие технологии. – 2020, № 3. – С. 81-86.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Михалаки Е.А.
РТУ МИРЭА
+7 (977) 306-73-34, mikhalaki.evgeniy@mail.ru

На начальных стадиях развития бортовых центральных вычислительных машин БКУ КА в различных бортовых устройствах имелись свои вычислительные машины, исследование всей бортовой аппаратуры позволяет сделать вывод, что не выгодно ставить на каждое бортовое устройство свой вычислительный модуль, так как это затратно и занимает лишние место и потребляет электроэнергию, основным недостатком подобной организации вычислительных средств в КА является ее низкая эффективность (существует не мало приборов, у которых бортовые задачи решаются исключительно эпизодически или с большим временным интервалом). В итоге можно сделать вывод, что коэффициент использования автономной БЦВМ оказывается низким.

В данной работе предлагается принципиально новая организация вычислительных средств на борту, устраняющая данный недостаток. Это использование универсального информационно-вычислительного блока (ИВБ) интегрированного в бортовую цифровую вычислительную систему (БЦВС) КА в качестве основного централизованного узла управления и обработки информации. Данное улучшение также придаст своевременную реакцию на вычислительные процессы, что устранит их непредсказуемость и скоротечность. Благодаря современному развитию программных средств БЦВС это позволит обеспечить целевое применение КА в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: обработка информации, космический аппарат, бортовой центральный компьютер, вычислительная машина, интерфейс обмена, командная информация, оперативная память, микропроцессор, бортовой комплекс управления.

Development of an information-processing and computing device for onboard computer machine of spacecraft. Mikhalaki E.A.

At the initial stages of the development of on-board central computers of the BCS spacecraft, various on-board devices had their own computers, the study of all on-board equipment allows us to conclude that it is not profitable to put your own computing module on each on-board device, since it is expensive and takes up extra space and consumes electricity, the main disadvantage of such an organization of computing facilities in the spacecraft is its low efficiency (there are quite a few devices whose onboard tasks are solved exclusively episodically or with a long time interval). As a result, it can be concluded that the utilization rate of an autonomous BCC is low.

In this paper, a fundamentally new organization of computing facilities on board is proposed, eliminating this drawback. This is the use of a universal information-processing and computing unit (IPCU) integrated into the on-board digital computing system (BDCS) of the spacecraft as the main centralized control and information processing node. This improvement will also give a timely response to computational processes, which will eliminate their unpredictability and transience. Thanks to the modern development of the BDCS software, this will ensure the targeted use of the spacecraft during operation.

Keywords: information processing, spacecraft, on-board central computer, computer, exchange interface, command information, random access memory, microprocessor, on-board control system.

Введение

Функции и задачи разрабатываемого прототипа ИВБ КА существенно зависят от области космического пространства, в пределах которого совершается полет аппарата, поэтому необходимо уточнить для каких аппаратов разрабатывается данное устройство. Разрабатываемый блок необходим для беспилотных малых космических аппаратов, которые движутся по орбитам спутника Земли и классифицируются по целевому назначению как научно-исследовательские, связные, метеорологические или навигационные. Основные задачи, выполняемые этими КА, является прием различной информации о пространственно-временных и функциональных характеристиках КА, а также радиоуправление и радиосвязь. Нормальное функционирование из вышеперечисленных КА невозможно без успешного решения этих задач, отражающих взаимодействие аппарата со средствами обеспечения полетов в космическом пространстве. Все эти КА имеют отдельные общие системы, предназначенные для навигации, управление движением и функционированием КА в целом, а также специальную аппаратуру.

Концепция построения ИВБ в составе БЦВС вырабатывается исходя из требования системного подхода к проектированию бортовых средств управления и контроля и реальной практики управления полетом космических аппаратов различного класса и назначения. С усложнением средств управления и контроля, выделением подсистем различного функционального назначения возникла объективная потребность в едином подходе к таким вопросам проектирования и эксплуатации, как:

- Унификация взаимодействия с многочисленными потребителями, управляющей и контрольно-диагностической информации;
- Рациональное сочетание централизованных и децентрализованных средств управления и контроля;
- Организация локальных и автономных контуров управления;
- Стандартизация каналов и протоколов обмена информацией;
- Создание, тестирование и верификация программного обеспечения для ИВБ.

ИВБ, входящий в БЦВС современных КА, должна выполняться в виде отказоустойчивой (как правило, двукратно или трехкратно резервированной) структуры с программно-аппаратным механизмом определения и парирования неисправностей. БЦВС в современных КА строят по магистрально-модульному принципу, допускающему гибкое изменение структуры.

Цели бортового информационно-вычислительного устройства

Выполнение любой задачи каждой из подсистем должен выполнять ИВБ:

- сбор информации об обстановке;
- обработка информации по алгоритмам, соответствующим состоянию объекта, среды и условиям применения;
- выработки команд управления и реализации управления различными объектами.

В соответствии с этим к основным средствам КА относят: информационные средства – источники первичной информации (датчики), средства передачи информации, средства обработки информации, принятия решений и формирования команд управления, исполнительные органы (объекты управления).

Средства обработки информации, принятия решений и формирование команд управления занимают центральное место и определяют все специфику работы управляющей системы.

Первоначально эти средства были организованы таким образом, что в различных системах КА имелись свои автономные вычислительные устройства (аналоговые и цифровые). Даже качественный анализ позволяет сделать вывод о том, что основным недостатком подобной организации вычислительных средств является ее низкая эффективность. Отдельные задачи, подлежащие решению на борту, должны были быть реализованы через большие промежутки времени, например коррекция траектории, предварительная обработка телеметрической информации и т.д., что снижало коэффициент использования аппаратуры и уменьшало ее полезную массу.

Принципиально новой организацией вычислительных средств на борту, устраняющей, указанный недостаток и обеспечивающей высокую производительность, точность и надежность вычислений, явилось использование в качестве основного звена обработки информации и управления бортовой цифровой вычислительной машины.

В настоящее время эти средства представляют собой, как правило, совокупность вычислительных устройств различного функционального назначения, связанных между собой и составляющих единую бортовую вычислительную систему. В связи с постоянным усложнением задач, решаемых на борту космических аппаратов, в качестве средства обработки информации и управления используют бортовые вычислительные системы, скомпенсированные между собой и составляющие вместе с другими средствами многомашинный комплекс, мультипроцессорную вычислительную систему или локальную бортовую вычислительную сеть. Для данной работы будем говорить, что КА имеет сетевую бортовую вычислительную систему.

Выбор микропроцессора как главного элемента для ИВБ

В связи с последними событиями 2022 года необходимо ориентироваться исключительно только на Российские микропроцессоры и электронно-компонентную базу. В рамках исследования компромисса были изучены и проанализированы несколько коммерческих встраиваемых радиационно-стойких микропроцессоров для бортовых системы КА с целью сравнения функциональности и энергопотребления. Исследование показало, что радиационно-стойки микропроцессор **1892ВМ206** обладает подходящим функционалом и характеристиками для задач ИВБ. Микропроцессор 1892ВМ206 включает в себя два порта в соответствии с ГОСТ Р 52070-2003, что более чем достаточно, также содержит кластер цифровых сигнальных процессоров (DSP-кластер) DELcore-30M в котором два DSP-ядра ELcore-30M работающие на общем поле памяти данных, имеющих набор общих регистров управления/состояния. Управление кластером DSP осуществляется CPU и представляет собой 2-ядерную MIMD систему (Multiple Instruction, Multiple Data – система с множественным потоком команд и множественным потоком данных). Разработан 1892ВМ206 АО НПЦ «Элвис» (рисунок 1), является радиационно-стойким микропроцессором, предназначен для применения в бортовой радиоэлектронной аппаратуре.

Выполнен по архитектуре MIPS32, совместимый процессор с 32/64-разрядным акселератором плавающей точки (FPU). FPU модуль для операций с плавающей запятой, часть микропроцессора для выполнения широкого спектра математических операция над вещественными числами, что определено подходит под заданные требования обработки большего объема информации, которая содержит много значение с плавающей запятой. MIPS32 является самой эффективной архитектурой среди всех RISC архитектур, предоставляющая лучшую производительность и самое низкое энергопотребление среди своих конкурентов. Основой в MIPS32 является 32-битный RISC CPU который не имеет лишних команд. Вычислительный конвейер содержит пять уровней и логические схемы, обеспечивающие еще до завершения обработки инструкции быстрый доступ к данным, которые используются следующей инструкцией.

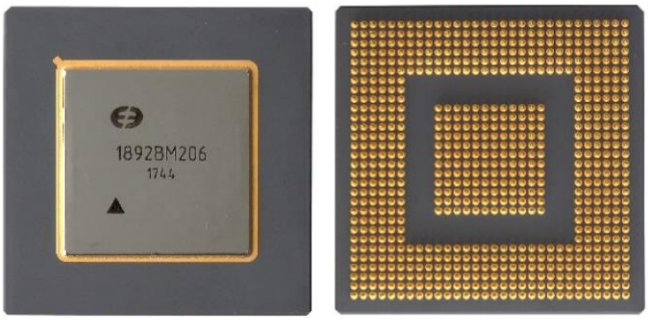


Рисунок 1 – Микропроцессор 1892ВМ206 (АО НПЦ «Элвис»).

Выбор протокола обмена данными и разработка шины интерфейса данных

Взаимодействие периферийных устройств КА с БВС осуществляется по цифровым или аналоговым шинам передачи данных. К шинам передачи данных, использующихся в космической технике, предъявляются жесткие требования:

- высокая пропускная способность;
- магистральный принцип обмена;
- высокая достоверность передачи информации;
- высокая помехозащищенность и гальваническая развязка;
- минимизация связей (сложности топологии) и, соответственно, массы;
- резервирование;
- высокая степень обработанности, в том числе летные испытания экспериментальных образцов вне бортового комплекса управления;
- серийность элементной базы;

- стандартизация (в том числе международная) интерфейса ввода-вывода.

Одними из наиболее распространенных и, соответственно, отработанных являются шины CAN и 1553B (МКО). Основными особенностями мультиплексного канала обмена 1553B являются:

- магистральный принцип построения;
- командно-ответный принцип обмена;
- число абонентов сети – 32;
- магистраль, выполненная в виде экранированной пары витой пары проводов, протяженностью до 100 метров;
- использование манчестерского кода для кодирования информации;
- стандартизация (ГОСТ Р 52070-2003, MIL-STD-1553B, STANAG 3838 AVS) форматов обмена, содержимого служебных слов и логики управления каналами;

В свою очередь шина CAN обладает следующими особенностями:

- возможность работы в режиме жестко реального времени;
- простота реализации;
- арбитраж сети без потери пропускной способности;
- высокая устойчивость к помехам;
- надежный контроль ошибок передачи и приема;
- является широковещательным одноранговым последовательным интерфейсом;
- стандартизация форматов обмена ISO 11898;
- количество абонентов для версии 2.0A – 2048;
- широкий диапазон скоростей работы;
- большое распространение технологии, наличие широкого ассортимента продуктов от различных поставщиков;
- при скорости передачи данных 500кб\сек протяженность магистрали 100 метров.

Стандарт CAN оптимизирован для систем, в которых должны передаваться относительно небольшие объемы информации к любому или всем узлам сети. Множественный доступ с опросом состояния шины позволяет каждому узлу получить доступ к шине с учетом приоритетов.

Сеть CAN содержит интерфейсные модули сопряжения (периферийные вычислители). Интерфейсные модели предназначаются для подключения по единому интерфейсу большой номенклатуры устройств. Данный интерфейсные модули могут иметь собственную логику управления присоединенными к нему устройствами, избавляя тем самым БВС от необходимости реализации специфических алгоритмов управления конкретным оборудованием. Использование периферийных вычислителей позволяет обеспечить распараллеливание и синхронизацию управляющих воздействий для реализации выбранного цикла управления (дисциплины управления оконечным оборудованием). Так, например, можно распараллелить решение асинхронной задачи сбора телеметрической информации от датчиков, подключенных к периферийным вычислителям и их синхронную, централизованную передачу в бортовую вычислительную систему для использования в задачах анализа и дальнейшей транзитной передачи в НКУ.

Для данного устройства шина CAN будет использоваться для взаимодействия с устройствами БЦВС, шина МКО для взаимодействия со всеми остальными приборами КА.

Чтобы интегральная микросхема микропроцессора могла взаимодействовать по МКО (ГОСТ Р 52070) с приборами КА необходимо использовать приемопередатчик. Анализ всех приемопередатчиков мультиплексного канала информационного обмена привел к решению использовать российского производства (ОАО НПО «Физика») радиационно-стойких интегральных микросхем МКО **5559ИН13У3** (рисунок 2).



Рисунок 2 – микросхема 5559ИН13У3 радиационно-стойкая приемопередатчика МКО (МКИО ГОСТ Р 52070 И MIL-STD-1553B)

ИМ является КМОП специализированной аналого-цифровой БИС, включающей в себя блок входной логики и выходной усилитель для передатчика, сложный дифференциальный компаратор и блок выходной логики для приемника.

Обмен информацией по шине CAN также происходит через приемопередатчик, наиболее подходящим является также российского производства (АО ПКК Миландр) микросхема **К5559ИН14АСИ** (рисунок 3), предназначенная для организации полудуплексного канала связи интерфейса CAN с

максимальной скоростью передачи данных до 1 Мбит/с.



Рисунок 3 – микросхема К5559ИН14АСИ приемопередатчика интерфейса CAN

Проектирование и организация работы цифровой памяти ИВБ

1) Оперативная память ИВБ

В качестве ОЗУ была выбрана из доступных вариантов микросхема **MT48LC16M16A2P-6A:G**, объемом 256 Мб, является высокоскоростной CMOS динамической памятью с произвольным доступом. Внутренне сконфигурирован как четырехканальный ОЗУ с синхронным интерфейсом. Каждый из 67108864-битных банков 16 организован в виде 8192 строк по 512 столбцам на 16 бит. ОЗУ использует внутреннюю конвейерную архитектуру для достижения высокой скорости работы. Работает под напряжением 3,3 В. Входы и выходы совместимы с LVTTL, также микросхема обеспечивает возможность синхронной пакетной передачи данных с автоматической генерацией адресов столбцов, чередование между внутренними банками для скрытия времени предварительной зарядки и возможность случайного изменения адресов столбцов на каждом такте во время пакетного доступа.

2) Статическая память ИВБ

Для надежного хранения информации необходимо использовать защищенную память (SRAM), поэтому была выбрана радиационно-стойкая микросхема – статическое асинхронное КМОП ОЗУ **1657РУ2У** (рисунок 4), емкостью также 16 Мб с конфигурируемой организацией 1024 на 16. Данная память является стойкой к воздействию специальных факторов. Главной функциональной особенностью микросхемы является использование кода Хэмминга для обнаружения и исправления ошибок в каждом из байтов 16-разрядного слова.

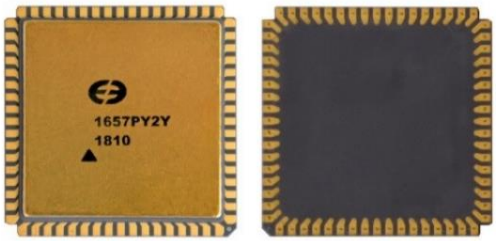


Рисунок 4 - статическое асинхронное КМОП ОЗУ 1657РУ2У

В данном ОЗУ реализована возможность контроля дефектности не только накопителя основных разрядов данных, но также и контрольных разрядов кода Хэмминга. Это достигается с помощью использования дополнительных управляющих входов, позволяющие включать или отключать кодовую защиту и подключать контрольные разряды к внешним выводам данных.

3) Организация работы микросхем памяти, параллельная флэш-память, SPI-флэш

Для того чтобы подключить к микропроцессору любые виды памяти, которые поддерживают исключительно последовательные интерфейсы управления SPI или I2S, необходимо использовать многофункциональный буферизированный последовательный порт MFBSP в дуплексном режиме, с возможностью независимой настройки приемника и передатчика, также данный порт имеет возможность вести обмен параллельно-последовательным кодом с другими устройствами по линьковому интерфейсу LPORT. В качестве устройства флэш-энергонезависимой памяти будет использоваться микросхема **S25FL256SAGMFI001**, которая будет соединятся с ведущей системой через последовательный интерфейс SPI.

Порт MPORT внешней памяти микропроцессора позволяет организовать обмен данными с широким набором устройств памяти, внешний интерфейс порта обеспечивает подключение без дополнительной логики следующие типы памятей: SRAM/ROM/EPROM/FLASH/SDRAM. Шина адреса и данных внешней памяти 32 разряда. Под требования описанного интерфейса внешней памяти микропроцессора (MPORT) была выбрана микросхема флэш-памяти **S29GL256**. Эта микросхема оснащена буфером записи, который позволяет запрограммировать максимум 64 байта за одну операцию, что приводит к более быстрому эффективному времени программирования, чем стандартные алгоритмы программирования. Структурная схема организации памяти представлена на рисунке 5.

В таблице 1 представлена карта памяти для ИВБ.

Таблица 1 – карта памяти ИВБ

Порт	Тип и объем памяти	Примечание	Начало	Конец
MPORT, nCS[0]	SDRAM, 194 Мб	128 Мб для данных и 64 Мб для хранения кодов Хэмминга	0x0000_0000	0x0C10_0000
MPORT, nCS[1]	SRAM, 10 Мб	8 Мб для данных и 2 Мб для хранения кодов Хэмминга	0x0000_0000	0x00A0_0000
SPI	SPI-флэш, 32 Мбайт	-	0x1C00_0000	0x1DFF_FFFF

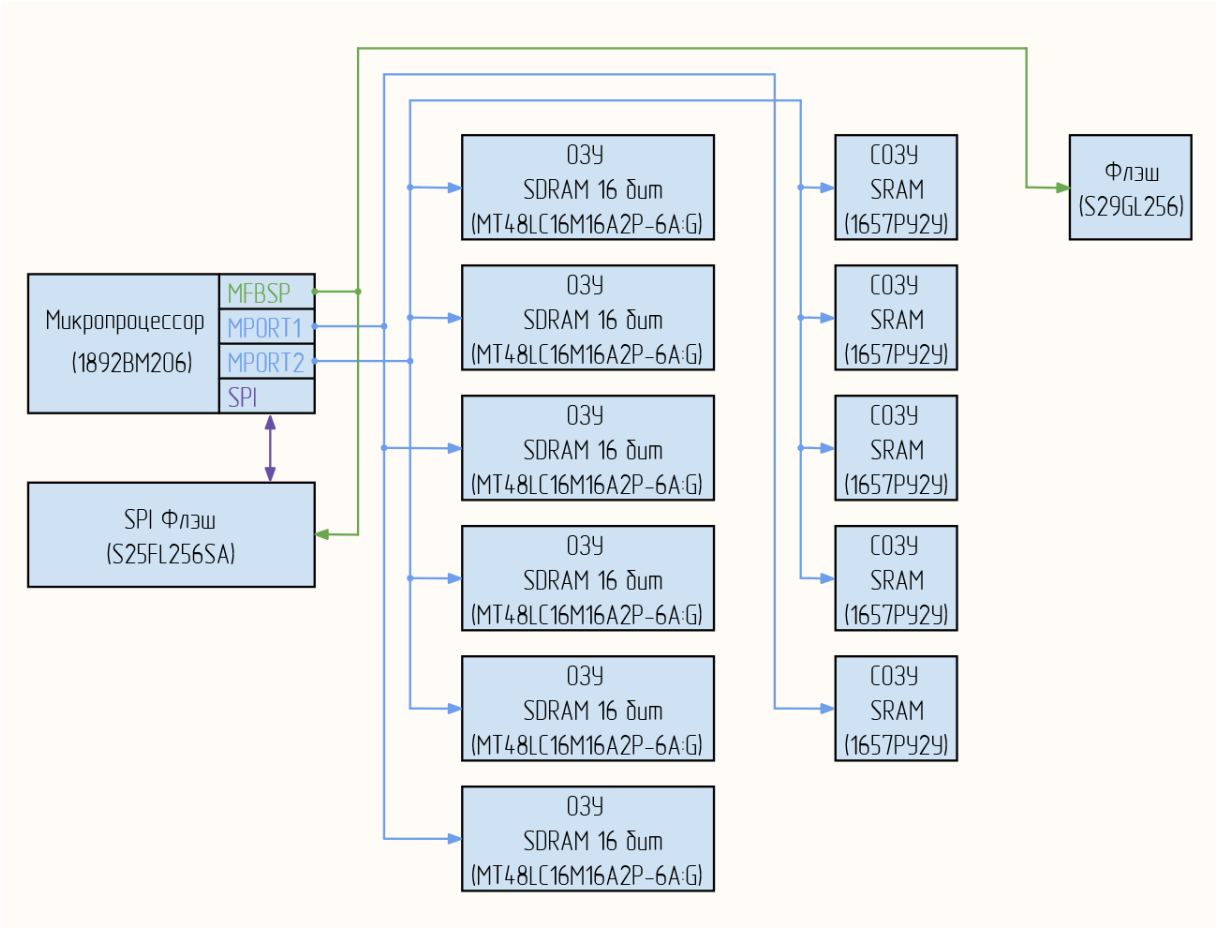


Рисунок 5 – структурная схема организации памяти ИВБ

Разработка схем электрических принципиальных ИВБ

Схема задания работы и скорости процессора представлена на рисунке 6.

В представленной схеме формирователями тактового сигнала являются генераторы G1, G2, G3, G4 – кварцевые генераторы, выбраны с учетом совместимости с аппаратным обеспечением для поддержания любой производительности процессора. Частоты 10 МГц, 32,768 кГц, 11 МГц, 125 МГц используются для привязки к стандартным скоростям обмена данными и предназначены для точного отсчета определенных интервалов времени.

Схема подключения динамического синхронного ОЗУ к процессору представлено на рисунке 7. Команды, управляющие модулем памяти (SDRAM – MT48LC16) подаются на контакты модуля по 7 сигнальным линиям (сигнальные линии на основной шине DQH – выводы 19, 38, 37, 16, 17, 18, 15). В приложении данной работы представлены подключение СДОЗУ оставшихся элементов (являются идентичными схемами).

Схема подключения статического ОЗУ к процессору представлена на рисунке 8. Эти модули памяти внутренне разделены на 2 независимых банка памяти, входы адреса первого и второго банка памяти BA0 и BA1 определяют, какому банку предназначена текущая команда.

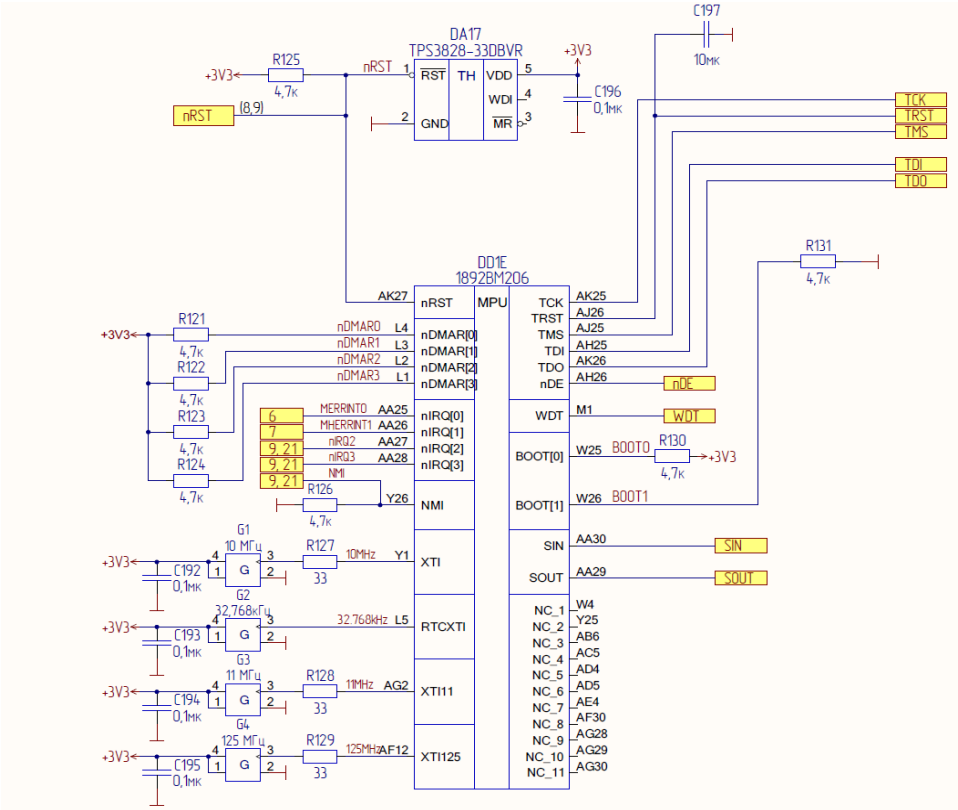


Рисунок 6 – Э3 задания работы и скорости ЦП

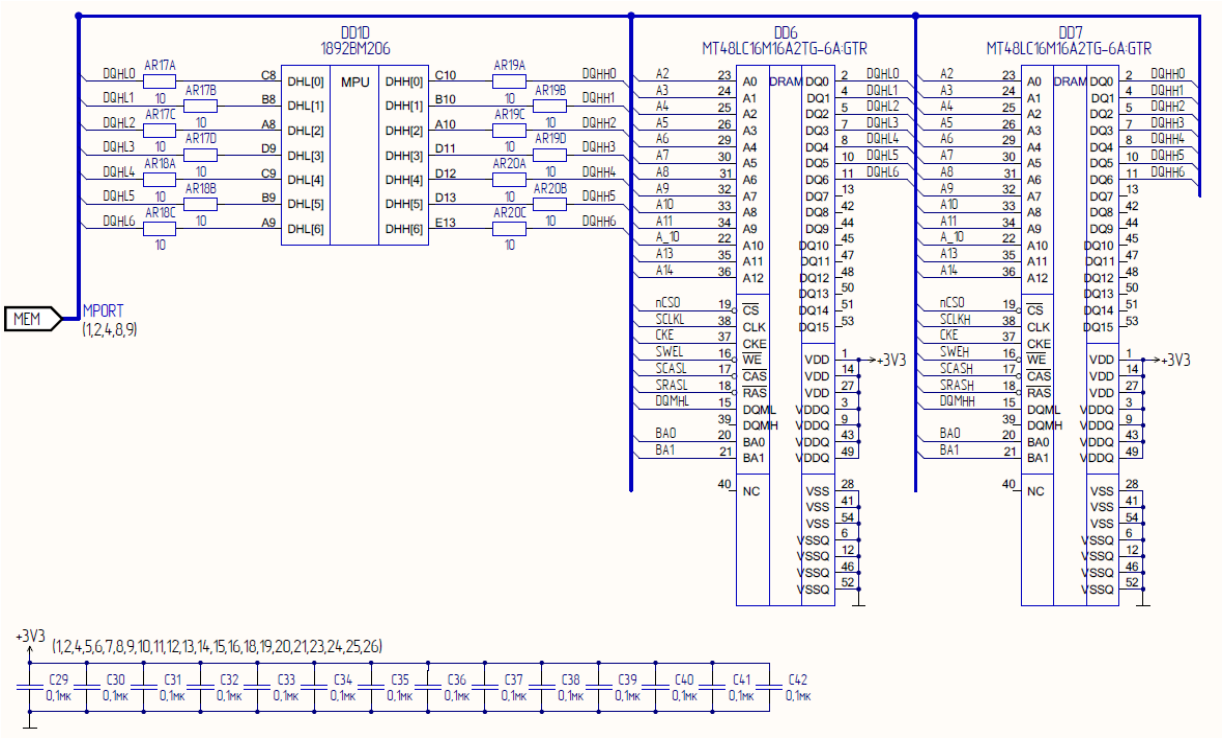


Рисунок 7 – Э3 электрического взаимодействия СДОЗУ с ЦП

В представленной схема СОЗУ (SRAM – 1675РУ2У) дает возможность ЦП выбирать для записи/чтения любой из битов/байтов. Используется для хранения временной информации и кодов Хэмминга. Сигналы чтения, записи, управления и выбора адреса ячейки входят в одну шину. Информационные сигналы входят в отдельную шину данных.

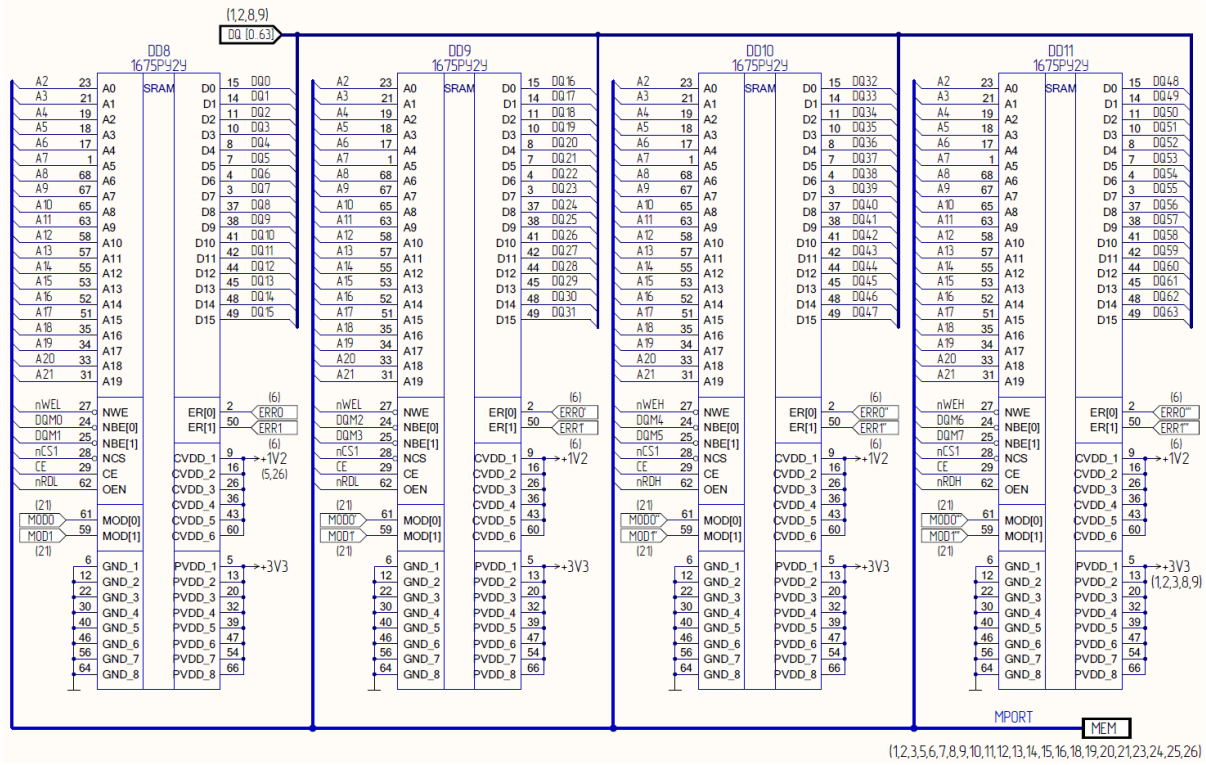


Рисунок 8 – Э3 электрического взаимодействия СОЗУ и ЦП

Так как в этих ИМС СОЗУ реализована возможность контроля дефектности не только накопителя основных разрядов данных, но также и контрольных разрядов кода Хэмминга с помощью управляющих входов MOD [1:0], которые отвечают за включение и выключение кодовой защиты. При появлении ошибки в основном или контрольном разряде младшего байта микросхемы появляется сигнал ошибки на выводе ER[0] или ER[1], появляется как в режиме с включенной кодовой защитой (MOD[1:0] = 00) так и выключенной (MOD[1:0] = 01). В режиме проверки контрольных разрядов выводы ER не используются. Регистрация ошибок процессором элементов памяти производится через микросхемы логики – D-триггеры SN74LVC1G175DBVR и логический вентиль NOR/OR CD4078BPWR с логической функцией на выходе, схема представлена на рисунке 9. Результирующие логические сигналы TERR подключаются к выводам ЦП интерфейса ввода/вывода GPIO и MERRINT подключается к выводам ЦП регистра управления режимом приема внешних прерываний nIRQ.

Для загрузки и выгрузки программ ИВБ используется энергонезависимая память – параллельная флэш-память. Диапазон физических адресов 0x1C00_0000-0x1FFF_FFFF соответствует банк памяти, подключенный к выводу микросхемы nCS, так как это является стандартом для конфигурации порта внешней памяти ЦП (не может быть изменено), поэтому в режиме загрузки процессор начинает исполнение сразу из параллельной флэш, следовательно в этот модуль памяти загружается основное ПО для работы ИВБ.

Исполнения программ из ОЗУ, предварительно записанных во флэш-память, используется в ИВБ флэш-память с интерфейсом SPI. Взаимодействие по интерфейсу SPI модуля флэш-памяти с ЦП. Данный модуль используется для записи бинарных файлов.

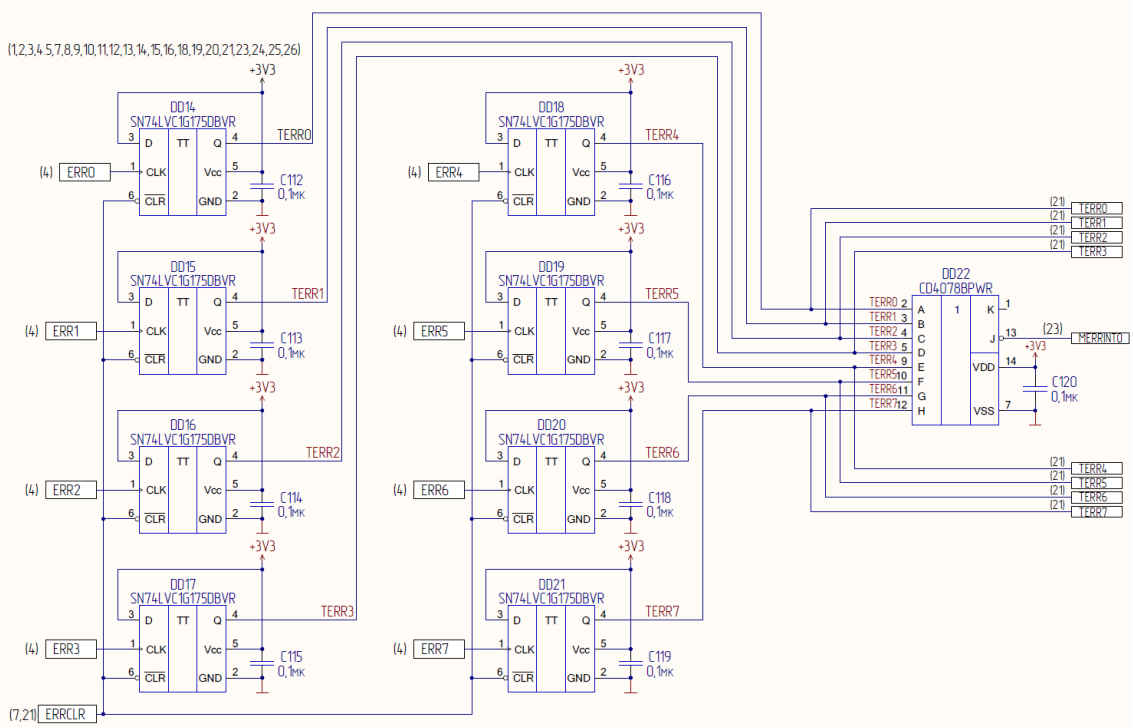


Рисунок 9 – Э3 электрического взаимодействия МЛ с ЦП для регистрации ошибок элементов памяти СОЗУ часть 1

Схема реализации интерфейса последовательной магистрали CAN для устройств БЦВМ представлена на рисунке 10.

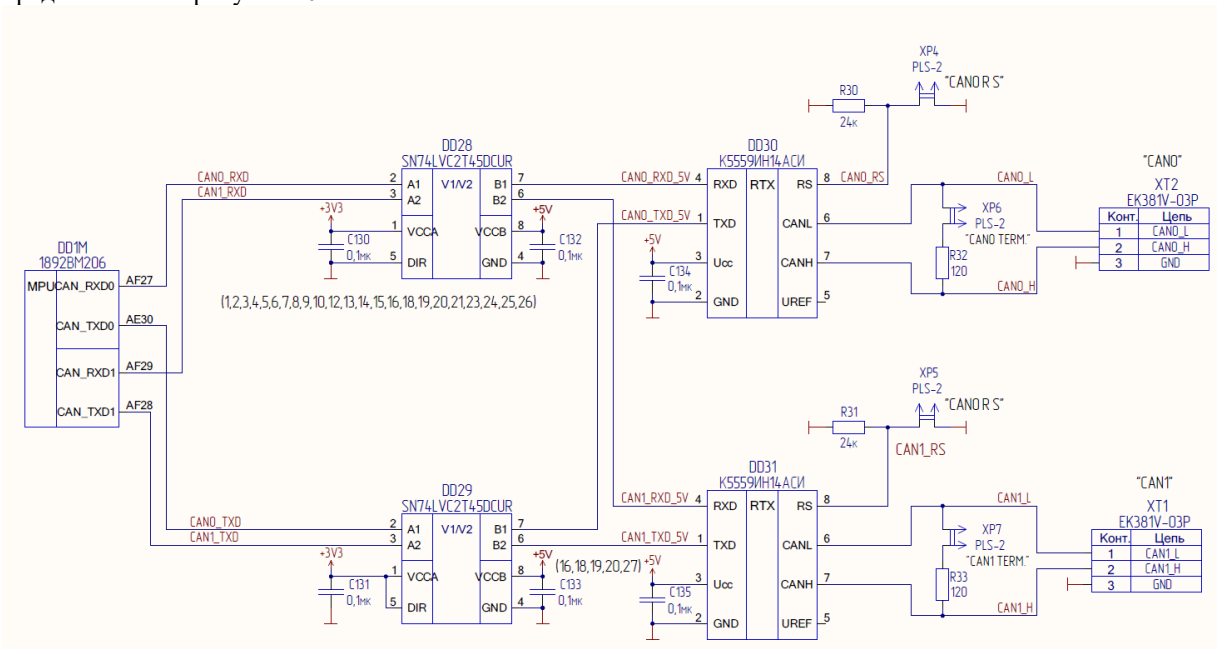


Рисунок 10 – Э3 электрического взаимодействия приемопередатчиков CAN с ЦП

Приемопередатчики К5559ИН14АСИ через ИМС преобразователей уровней SN74LVC2T4 для обеспечения совместимости логических уровней подключаются к выводам контроллера CANBIC ЦП.

Схема реализации интерфейса МКО ГОСТ Р 52070-2003 для БС КА представлена на рисунке 11.

Через трансформатор ТИЛ-6В при питании 5В размах сигнала на нагрузке 70 Ом. ИМС приемопередатчиков 5559ИН13У3 через преобразователи уровней подключается к контроллеру 1553BIC ЦП по ГОСТ Р 52070-2003 (MIL-STD-1553B). Контроллер имеет прямой доступ в память для приема/передачи данных, работа контроллера осуществляется на частоте процессора, работа интерфейса МКО осуществляется на частоте тактового сигнала 50 МГц.

Напряжение 3,3В предназначено для электропитания входных и выходных цифровых драйверов ИМС 1892ВМ206, преобразователя UART СР2104Ю параллельной флэш-памяти, СДОЗУ, SPI флэш-памяти, также разъемов MPORT и JTAG. Напряжение 1,8В предназначено для электропитания ядра ЦП ИМС 1892ВМ206. Напряжение 5В предназначено для электропитания преобразователей уровня и разъема UART. Напряжение 1,2В предназначено для электропитания ИМС памяти 1657РУ2У.

Конструкция ИВБ представляет собой единый блок в состав которого входят секция, экранирующая от электромагнитных помех ПП других устройств, разделенная конструктивными перегородками для устранения взаимной связи и взаимного влияния функциональных узлов устройства. ИВБ выполнен в виде модуля, который входит в БКУ прибора БЦВМ. Конструкция корпуса выполняется из авиационного алюминиевого сплава Амг-6 и при соответствующих защитных покрытиях обеспечивает требованиям ТЗ. Корпус имеет 4 планки в виде рельс для удобного монтажа модуля в комплекс БЦВС и 2 отверстия с резьбой на передней панели для закрепления модуля.

Печатная плата устройства является многослойной, содержит 8 слоев проводимых дорожек.

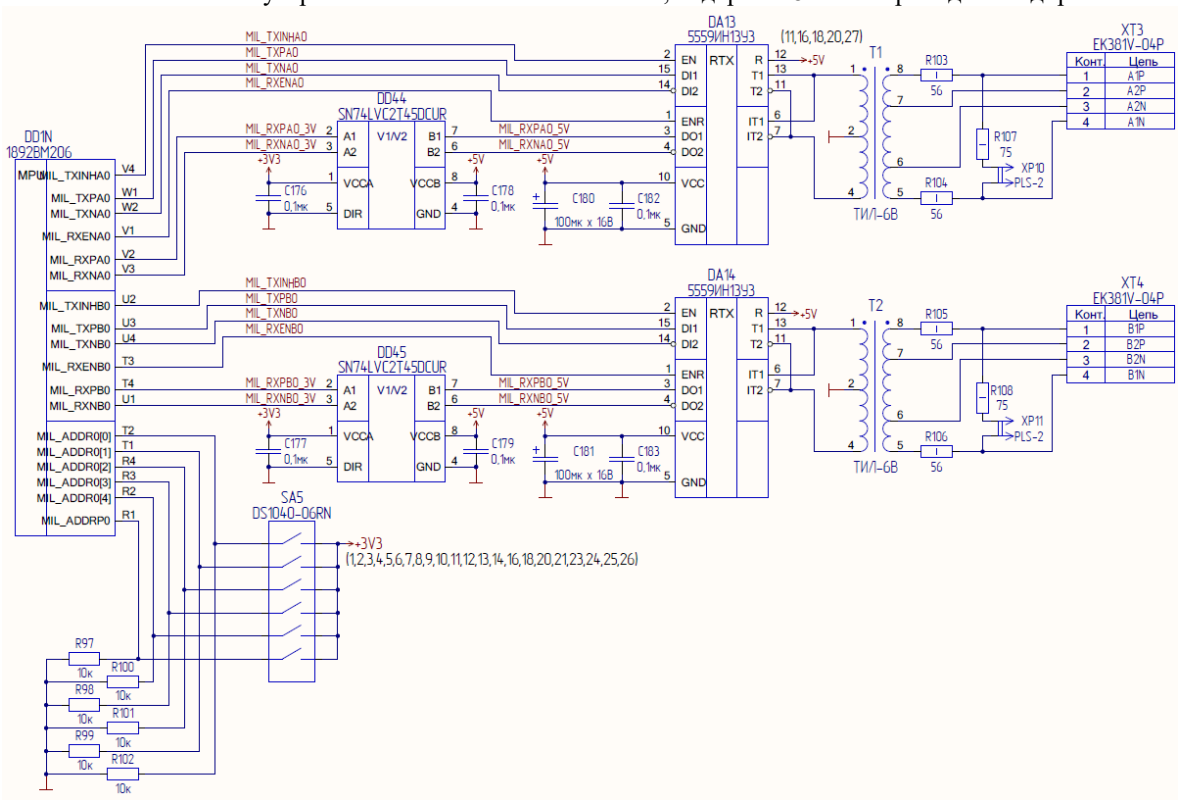


Рисунок 11 – Э3 электрического взаимодействия приемопередатчиков 5559ИН13У3 с ЦП

Заключение

В данной работе было проведено исследование радиационно-стойких микропроцессоров, микросхем интерфейсов обмена информацией и цифровой памяти для использования в информационно-вычислительном блоке бортовой вычислительной системы КА, также разработаны схемы электрические принципиальные всего устройства. Печатная плата спроектирована под конструкцию, учитывающую ограничения габаритных размеров малого космического аппарата.

Литература

1. ГОСТ Р 52070-2003 Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей.
2. Конструирование узлов и устройств электронных средств: учебное пособие / Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин, О.А. Белоусов. –Ростов н/Д.: Феникс, 2018. – 540 с.
3. Микрин Е.А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 336 с.
4. Цифровые вычислительные системы и их программное обеспечение: учебное пособие. / В.И. Петров, К.Н. Матюхин. – Воронеж: ООО «МИР», 2019. – 84 с.
5. Проектирование и испытание бортовых систем управления: Учебное пособие / Под редакцией А.С. Сырова. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2011. – 344 с.: ил.

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШАЮЩИХ ГРАФОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Русакова З.Н.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Россия, Москва

Рассматриваются вопросы оптимизации логического вывода в продукционных системах искусственного интеллекта (ИИ), моделируемых графами И-ИЛИ. Описывается алгоритмическое и программное обеспечение для построения оптимального дерева решения задачи поиска в гиперграфах на основе обратного метода поиска в ширину. Разработан параметризованный класс С++, в методах которого реализуется построение оптимального решающего графа.

Ключевые слова: графы, алгоритмы, логический вывод, деревья, оптимизация поиска, классы, правила продукций.

Search for optimal decision graphs in intelligent systems. Rusakova Z.N., MSTU im. N.E. Bauman, Russia, Moscow

The issues of optimization of logical inference in artificial intelligence (AI) production systems, modeled by AND-OR graphs, are considered. The algorithmic and software for constructing an optimal solution tree for the search problem in hypergraphs based on the inverse breadth-first search method is described. A parameterized C++ class has been developed, in the methods of which the construction of an optimal decision graph is implemented.

Keywords: graphs, algorithms, inference, trees, search optimization, classes, production rules.

Введение

Ядро продукционных систем ИИ составляют следующие основные блоки: база знаний, система логического вывода и рабочая память, формируемая в процессе вывода. Знания представляются с помощью набора правил продукций, в которых посылка является множеством условий, связанных логической связкой "И". Эти условия определяются семантическими понятиями предметной области. Формализация базы знаний гиперграфами И-ИЛИ позволяет представить правила продукции графами И-ИЛИ с двумя типами вершин: первый тип - конъюнктивные входные вершины, соответствующие условиям правила, и выходная вершина, соответствующая заключению правила. Продукционная база правил описывается списком модулей правил. Этому списку соответствует формализованное представление графом И-ИЛИ. Система логического вывода соответствует поиску решения в гиперграфах И-ИЛИ [1].

В [2,3] описывается разработанный параметризованный класс шаблон С++ для поиска решающего графа на основе стратегии обратного вывода методом поиска в глубину. Такой подход позволяет получить первый из возможных вариантов решающего графа – самое левое дерево решения. Этот граф решения является оптимальным, если только нет альтернативных вариантов решения задачи. В данной работе описывается алгоритмическое и программное обеспечение, позволяющее получить оптимальный вариант решающего графа. Описывается проектирование шаблона С++, позволяющего получить оптимальный вариант на основе стратегии обратного вывода методом поиска в ширину. Оптимальный граф решения формируется в рабочей памяти и определяется как подграф из разрешимых вершин, соответствующих именам правил.

Метод решения

Основные структуры данных определены и описаны в [2,3] при разработке класса шаблона С++ для поиска решающего графа на основе стратегии обратного вывода методом поиска в глубину. Вершина описывается классом Ver, полями которого объявляются целые числа – номер вершины -num и поле flag, определяющее выбор вершины в процессе поиска - выбрана, доказана, запрещена. Для описания входных вершин модуля используется Mas Ver.

Модуль правила описывается классом Modul_prav, включающим следующие поля: номер правила - int num_p, выходная вершина модуля -Ver vc, массив входных вершин Ver * mv, количество - int n, и флаг просмотра - int metka.

Множество правил базы знаний описывается списком модулей правил. Для поиска оптимального решения используется стратегия формирования списков открытых и закрытых вершин [1,2,3]. В [] разработан класс List для обработки двунаправленных списков.

Списки формируются по принципу очереди: вершина для раскрытия выбирается из головы списка открытых вершин, а потомки записываются в хвост списка открытых. В отличии от поиска в пространстве состояний в графах И-ИЛИ [2,3] необходимо в процессе решения формировать не только списки открытых и закрытых вершин, но списки правил, которые определяют дерево решения.

В данной работе описывается проектирование шаблона C++ - класс Poisk_ I_ILI, позволяющего получить оптимальный вариант решающего графа на основе стратегии обратного вывода методом поиска в ширину. Полями класса Poisk_I_ILI объявляются список базы правил baza, описывающих граф, флаги решения flagys, flagnot, открытые и закрытые списки вершин и правил список, заданные вершины (входные данные) и целевая вершина. Параметры шаблона- классы, описывающие правила базы знаний графа и вершины.

```
template < class T , class Tr >  // t - Modul_prav, Tr - Ver
 class Poisk_ I_ILI  {
  public:
     int flagys, flagnot; // флаги решения
          Tr  cel, *dat ; int nd;    // целевая вершина  и исходные  данные
           // списки открытых и закрытых вершин и правил
           List <Tr> OpenNodes;
           List <Tr> CloseNodes;
           List <T> Open_prav;
           List <T> Close_prav;
           List <T> baza;  //   список  правил  продукции
         //Конструкторы  и  методы класса
};
```

Аргументы, передаваемые в конструктор: список правил продукций, целевая вершина, массив заданных вершин (входные вершины поиска), который инициализирует список закрытых вершин в рабочей памяти, целевая - помещается в голову списка открытых вершин OpenNodes, задаются флаги решения flagys=1, flagnot=1. В процессе поиска в рабочей памяти формируются списки закрытых вершин и правил. В списке закрытых правил содержится решающий граф.

Класс включает следующие основные методы. Метод определения потомков текущей подцели - potomki(). Метод разметки вершин - razmetka (), в котором формируются закрытые списки из доказанных вершин и правил. Метод организации алгоритма поиска в системе логического вывода - poisk(). Далее рассматриваются алгоритмы и программная реализация методов.

Метод potomki() - метод класса, в котором раскрывается текущая подцель. По стратегии метода поиска в ширину текущая подцель выбирается из головы списка открытых вершин. На первом шаг текущая подцель - это заданная целевая вершина поиска. Потомки вершины раскрытия – это входные вершины правила, раскрывающего подцель. Результатом выполнения метода являются определение числа правил, раскрывающих подцель и модификация списков открытых вершин и правил по принципу очереди.

Поиск всех модулей правил выполняется в цикле по базе правил. На каждом шаге цикла выбираются все правила, открывающие текущую целевую вершину. Подцель выбирается из головы списка открытых вершин.

В цикле “пока” просматривается база правил и выбираются все правила, заключение которых (выходная вершина правила продукции) равна подцели и метка правила равна 0, т.е. правило не выбиралось. Для выбранного правила метка ставится в 1. Входные вершины каждого модуля правил, не покрытые множеством заданных вершин, входящих в список закрытых вершин, по принципу очереди записываются в хвост списка открытых вершин, а правило – в хвост списка открытых правил.

Для поиска таких вершин определяется покрытие вершин входов выбранного правила множеством вершин из списка закрытых, которые либо заданы, либо доказаны. Для этой цели организованы два цикла. Внешний цикл по закрытому списку вершин, вложенный - по числу входов модуля. Во вложенным цикле проверяется условие что рассматриваемая входная вершина модуля правила совпадает с текущей вершиной из закрытого списка. Для каждой покрытой вершины, т.е. входящий в список закрытых, флаг вершины устанавливается в 1. Входные вершины правила, не входящие в заданные и доказанные вершины, записываются в хвост списка открытых вершин, а правило - в хвост списка открытых правил. Открытые правила и вершины - это еще не доказанные вершины и правила. Они будут раскрываться на следующих шагах поиска.

Если число закрытых входных вершин текущего правила меньше числа входов, выполняется переход по базе правил и выбор в цикле следующего правила, пока не конец списка правил. Если число вершин входов модуля равно число вершин, входящих в закрытые вершины, т.е. покрывается этим множеством, то модуль выполнен и новых подцелей на данном шаге нет. Флаг выходной вершины модуля устанавливается в 1, что означает – правило выполнено. Если все входы правила доказаны, то правило доказано и его надо записать в список закрытых правил. Если выход модуля правила совпадает с целью, то решение получено. Тогда флаг решения устанавливается в 0, осуществляется выход из цикла просмотра и завершение работы метода.

Если целевая вершина не достигнута, а модуль правила доказан, то необходимо подниматься вверх по списку открытых правил: т.е. просматривать список открытых правил с целью проверки

выполнения модуля правила и разметки открытых вершин и правил, устанавливая флаги вершин и правил в 1 (доказанные) и переноса доказанных вершин и правил в закрытые списки. Это реализуется в методе разметки. Код метода поиска потомков текущей подцели:

```
int Poisk_ I_ILI ::potomki () {
  int i,j, k, l  ,m, flag=1;     j=0;
  baza.cur=baza .first;
//пока не конец базы правил или не получено решение
 while (  baza.cur!=0 && flagys ) {
// если вершина из головы списка открытых вершин равна заключению правила
// то правило выбирается и если еще не выбиралось
        if (OpenNodes.first->data == baza.cur->data.vc  && baza.cur->data.metka == 0 )      {
                baza.cur->data.metka=1;  //метка правила
                m=baza.cur->data.n; //число входов правила
               j++;
// определяется покрытие входов закрытыми вершинами - данными
                for( i=0, k=0;  i<m; i++)   {
         // цикл по списку закрытых вершин - исходные данные
             CloseNodes.cur=CloseNodes.first;
            while(CloseNodes.cur !=0)                  {
                        if   (CloseNodes.cur->data == baza.cur->data.mv[i]) {
                           k++;     baza.cur->data.mv[i].flag=1;
                          break; // вершину нашли и вышли
                           }
                    CloseNodes.cur=CloseNodes.cur->next;
                } //end while
          }        // end for
/* если есть не доказанные входные вершины, то запись недоказанных вершин в хвост открытого списка вершин, а - найденного правила - baza.cur->data- в хвост списка открытых правил */
         if ( k < m ){
                 Open_prav.add(baza.cur->data);
                  for(i=0; i<m; i++)    OpenNodes.add( baza.cur->data.mv[i] );
                  }
           else
        // если все входные вершины покрываются доказанными -анализ выхода модуля вершины
            if (k==m &&  cel.num == baza.cur->data.vc.num )  flagys=0 ;
            else { //  если цель не достигнута, то вызов метода разметки вершин
                  CloseNodes.add_head( baza.cur->data.vc.num ) ;
                  baza.cur->data.metka=2; // доказано метка =2
                  baza.cur->data.vc.flag=1;
                 Close_prav.add( baza.cur->data );
                 razmetka_sh();      flag=0;  }
          }
       if (flag )        baza.cur = baza.cur->next; //   переход по базе правил
    }   //end while конец цикла просмотра правил и поиска правила для цели
return j;
 }
```

Организация построения дерева решения методом поиска в ширину от цели выполняется в методе poisk () по следующему алгоритму.

Пока не получено решение: целевая вершина доказана, или доказано, что решения нет, т.е. пока флаги решения flagys и flagnot равны 1, выполнить:

Модифицировать текущие списки открытых вершин и правил, определить текущее значение флага решения, если текущий модуль правила доказан, то выполнить разметку вершин и правил в текущих открытых списках, удалить из списка открытых вершин и правил доказанные, записав их в закрытые. Метод разметки вызывается из метода определения потомков текущей подцели.

Удалить текущую подцель из списка открытых вершин - OpenNodes.del_head();

Если получено решение, флаг решения flagys = 0, то выполняется вывод решающего графа и выход из цикла, иначе, если не нашли потомков текущей подцели и список открытых вершин пуст, то решения нет то флаг решения flagnot устанавливается в 0 (flagnot=0) и осуществляется выход из цикла.

Код метода поиска:

```
int Poisk_ I_ILI ::poisk ()   {    int i,j;  ;
```

```
while ( flagys && flagnot )  //пока не нашли решение или нет решения
        {       j = potomki (); //  нашли правило
                OpenNodes.del_head();
                if ( flagys == 0)  {
                   cout << "   решение – доказанные вершины и правила;
                  Close_prav.print_List();            return 1; }
                 else      if  (  flagys  && OpenNodes.first == 0 )   {
                           cout<< << " нет решения ";
                           cout<< "  Открытые правила ";      Open_prav.print_List();     ;
                            flagnot=0;  return 0;
                           }
          } // end while
return 0;    }
```

Оптимальный решающий граф решения из закрытого списка правил рабочей памяти и определяется как подграф из разрешимых вершин, соответствующих именам правил.

Заключение

Разработан параметризованный класс С++для построения оптимального дерева решения в гиперграфах на основе обратного метода поиска в ширину.

Литература

1. Новиков Ф.А Символический искусственный интеллект: математические основы представления знаний Москва: Издательство Юрайт, 2019,278
2. Rusakova Z. N. C++ software tools for modeling artificial intelligence production systems. Iinternational scientific – practical conference «information innovative technologies», 2022
3. Русакова З.Н. Проектирование шаблона С++ для построения решающих графов в продукционных системах. Международный научно-исследовательский журнал International research journal 2022 часть 1 январь
4. Пратик Джоши. Искусственный интеллект с примерами на Python Пер. с англ. - СПб. : ООО "Диалектика", 2019. - 448 с. –
5. Седжвик Р. Алгоритмы на С++. Фундаментальные алгоритмы и структуры данных. – М.: Вильямс, 2013. – 1056 с.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДУЛЯ СБОРА ДАННЫХ С КАЖДОГО АККУМУЛЯТОРА В ЛИТИЙ-ИОННОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕЕ

Старостин И.Е., Гавриленков С.И, Гришненко Д.Н.
Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА), г. Москва
+7 (977) 613-42-35, starostinigo@yandex.ru

Статья посвящена разработке методики проектирования, предложенного ранее авторами усовершенствованного модуля сбора данных с каждого литий-ионного аккумулятора в батарее. Упомянутый модуль собирает данные напряжения и тока балансировки с каждого блока параллельно соединенных литий-ионных аккумуляторов в батарее, температуры положительного и отрицательного электродов с каждого аккумулятора в батарее, тока в общей цепи. В основу модуля положена гальваническая развязка, что повышает его надежность и помехозащищенность.

Ключевые слова: модуль сбора данных, литий-ионные аккумуляторные батареи, надежность и безопасность, гальваническая развязка.

Method for designing a data collection module for each battery in a lithium-ion battery. Starostin I.E., Gavrilenkov S.I., Grishnenko D.N. Moscow State Technical University of Civil Aviation (MGTU GA), Moscow.

The article is devoted to the development of a methodology for designing an improved module for collecting data from each lithium-ion battery in a battery, proposed earlier by the authors. Said module collects balancing voltage and current data from each block of parallel-connected lithium-ion batteries in the battery, temperature of the positive and negative electrodes from each battery in the battery, current in the common circuit. The module is based on galvanic isolation, which increases its reliability and noise immunity.

Keywords: data acquisition module, lithium-ion batteries, reliability and safety, galvanic isolation.

Введение

В настоящее время литий-ионные аккумуляторные батареи (ЛИАБ) являются перспективным источником электрической энергии в различных сферах практической деятельности человека – от бытовой техники до нетрадиционной энергетики, ракетостроения, авиации и медицинской техники [1]. Однако широкому внедрению ЛИАБ в указанные сферы препятствует их неустойчивость к перезаряду и переразряду [1,2]. Для повышения устойчивости к перезаряду и переразряду ЛИАБ в настоящее время ведутся разработка новых материалов электродов и электролита [3 – 6]. Однако такие меры лишь затрудняют вход ЛИАБ в режим перезаряда или переразряда, но не предотвращают описанные режимы [3 – 6]. Это и обуславливает необходимость управления процессом заряда и разряда ЛИАБ [1,2].

Одной из математических основ алгоритмов управления ЛИАБ является диагностика и прогнозирование технического состояния каждого аккумулятора в батарее [1,2]. В основу таких алгоритмов положены математические модели аккумуляторов, которые целесообразно получать методом математического прототипирования энергетических процессов (ММПЭП) [7 – 9], являющимся дальнейшим развитием всех существующих в настоящее время модели макроскопических физических и химических процессов [7], в том числе и моделей литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) [7]. Однако для таких продвинутых моделей требования ко входным данным возрастают [7]. С этой целью авторами ранее была предложена концепция усовершенствованной системы сбора данных с ЛИАБ [10], которая может быть подключена к программно-технологической платформе цифровых двойников, основанной на ММПЭП [9]. Настоящая статья посвящена разработке методики расчета предложенной установки сбора данных в ЛИАБ.

Усовершенствованная система сбора данных

Диагностика технического состояния ЛИАБ осуществляется на основе данных напряжения, тока и температуры каждого аккумулятора в батарее [1,2,11]. Предлагаемая в работе [10] установка предназначена для ЛИАБ, представляющих собой последовательно соединенные блоки параллельно соединённых ЛИА (рис. 1). Такая установка собирает данные напряжения с каждого блока параллельно соединенных ЛИА, собирает ток в общей цепи, балансировочные токи и температуры положительного и отрицательного электродов с каждого ЛИА [10]. Т.е. с каждого аккумулятора собирается две температуры [10]. Это дает возможность оценивать сопротивление положительного и отрицательного двойных слоев, т.к. при одном и том же токе через двойные слои при разных сопротивлениях выделяется разное количество теплоты, что и находит отражение на температуре каждого электрода в ЛИА [12]. Также по разности температур электродов возможно анализировать перекрестные температурные эффекты. Что в свою очередь повышает полноту диагностики и прогнозирования технического состояния каждого ЛИА в ЛИАБ.

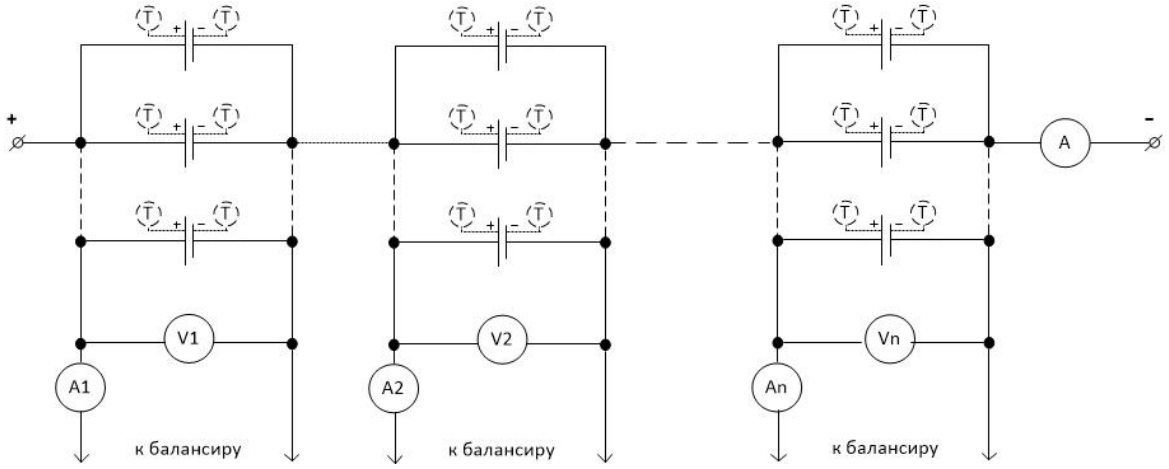


Рисунок 3 – Схема литий-ионной аккумуляторной батареи и подключения датчиков к ней.

В процессе активной балансировки через ЛИА возникают пульсации тока, обусловленные попеременным подключением индуктивных элементов, использованием трансформаторов [13,14] и соответственно пульсации напряжения на ЛИА. Возникающие пульсации тока и напряжения дают информацию о емкости и сопротивлении двойных слоев и мембраны, что обуславливает необходимость их учета [12,15]. С этой целью датчики напряжения, тока и температуры возвращают, как постоянную, так и переменные составляющие напряжения (рис. 2), тока (рис. 3а) и температуры (рис. 3б) [10]. Постоянная составляющая напряжения собирается с помощью летающих конденсаторов (рис. 2), а переменная составляющая (рис. 2) – с помощью трансформатора [10]. Летающие конденсаторы и трансформатор представляют собой гальваническую развязку, защищающую микроконтроллер от высоких напряжений, а также повышающую помехозащищенность [10,16]. Переменная составляющая через анализатор спектра

и постоянная составляющие подаются (в общем случае через коммутатор) на аналоговые входы микроконтроллера (рис. 2 и 3) [10].

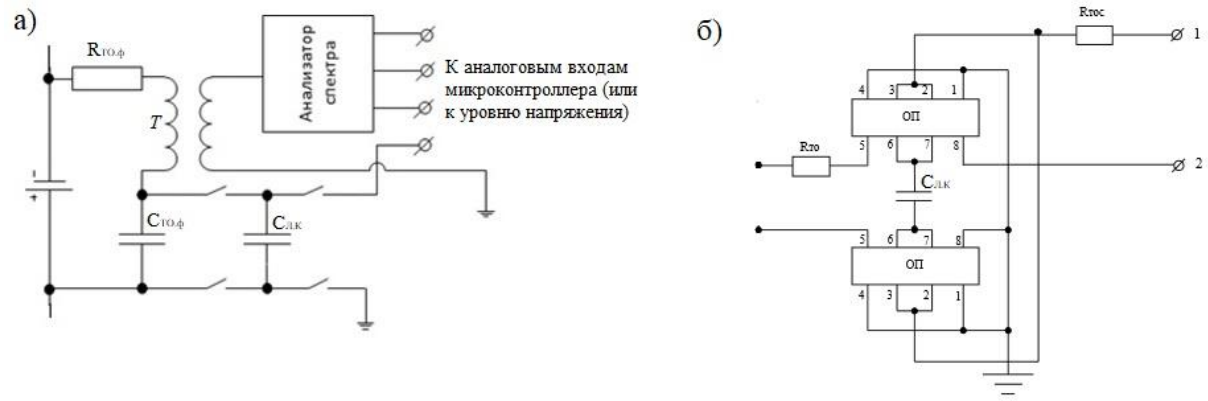


Рисунок 4 - Датчик напряжения а) структура датчика, б) летающие конденсаторы на оптопарах.

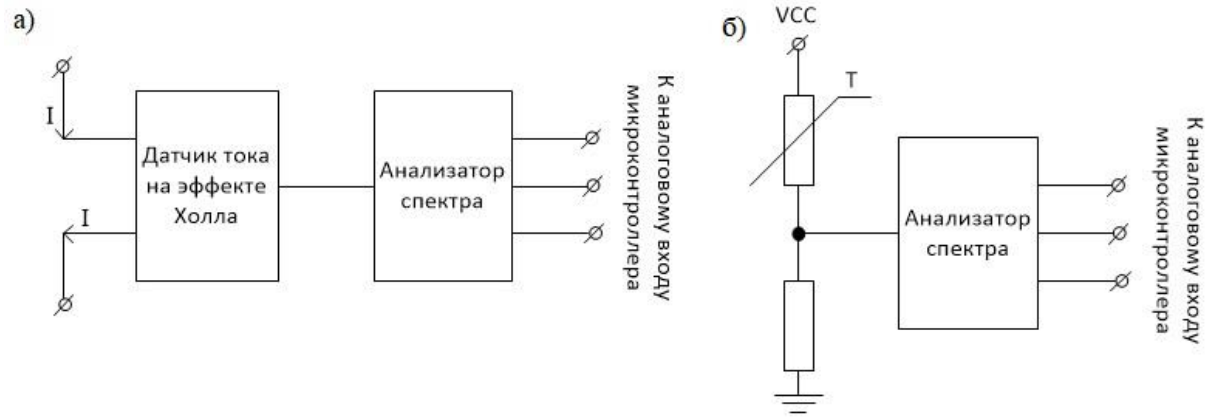


Рисунок 5 – Датчики тока а) и температуры б).

Следует также отметить, что ЛИА нельзя разряжать ниже некоторого уровня (в противном случае начнется переразряд). В таком случае напряжения каждого ЛИА целесообразно измерять в диапазоне от минимального значения до максимального. Но аналоговый вход микроконтроллера измеряет напряжение в промежутке от нуля до некоторого опорного напряжения. Это делает целесообразным снятие напряжения ЛИА относительно минимального напряжения, даваемого резистивным делителем напряжения, с использованием инструментального дифференциального усилителя (см. рис. 4). Опорное напряжение тоже подается на аналоговый вход микроконтроллера, что гарантирует отсутствие методической погрешности, даваемой изменением сопротивлений R1inv и R2inv, на которых построен делитель напряжения, даваемый опорную величину (рисунок 5) [17].

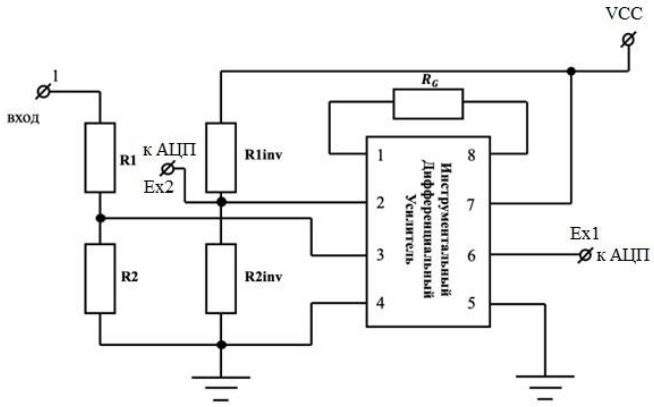


Рисунок 6 – Уровень измеряемой величины. Ex1 – выход измеряемой величины относительно уровня; Ex2 – выход опорной величины

Разница между измеряемой величиной и величиной уровня может быть усилена, что даст возможность в полной мере использовать возможности АЦП микроконтроллера. Это дает свободу выбора опорного напряжения АЦП микроконтроллера.

Использование анализаторов спектра существенно снижает нагрузку на микроконтроллеры, благодаря чему микроконтроллеры имеют возможности предобработки данных. В датчике напряжения в качестве ключей используются оптопары, обеспечивающие гальваническую развязку [10]. Управление светодиодами оптопар осуществляется с микроконтроллера в общем случае через коммутатор [10].

Методика проектирования установки

Проектирование установки сбора данных заключается в:

– выборе микроконтроллера;

– выборе коммутатора для датчиков напряжения, токов (тока во внешней цепи и балансировочных токов) и датчиков температур;

– выбора опорного напряжения АЦП микроконтроллера;

– определении параметров приведенных на рис. 2 и 3 датчиков тока, напряжения и температуры.

Выбор микроконтроллера осуществляется, исходя из:

– числа аналоговых входов микроконтроллера (в случае, если число аналоговых входов микроконтроллера меньше числа аналоговых датчиков, используем коммутатор);

– числа цифровых пинов микроконтроллера (используются в том числе и для коммутации коммутатора);

– объема оперативной и флеш памяти микроконтроллера;

– числа арифметических операций в секунду.

На первом этапе проектирования необходимо учесть число последовательно соединенных блоков $n_{\text{посл}}$ в ЛИАБ и число ЛИА в блоке параллельно соединенных ЛИА $n_{\text{пар}}$ (рис. 1). Отсюда, число датчиков температур $n_{\text{д.}T}$, датчиков напряжения $n_{\text{д.}V}$ и датчиков тока $n_{\text{д.А}}$ определяется согласно (видно из рис. 1):

$$n_{\text{д.}T} = 2 \cdot n_{\text{посл}} \cdot n_{\text{пар}} \cdot \gamma_{\text{д.}T},\ n_{\text{д.}V} = n_{\text{посл}} \cdot \gamma_{\text{д.}V},\ n_{\text{д.А}} = n_{\text{посл}} + 1, \quad (1)$$

где величины γ с индексами принимают значение 1, если нет уровня, относительно которого измеряем величину, и 2 в противном случае. Отсюда число аналоговых входов $n_{\text{а}}$, необходимых для датчиков:

$$n_{\text{а}} = n_{\text{д.}T} + n_{\text{д.}V} + n_{\text{д.А}}. \quad (2)$$

Рассчитав на первом этапе проектирования необходимое число аналоговых входов, мы, имея классы моделей ЛИАБ, вбирающих в себя модели ЛИА (полученных ММПЭП [7 – 9]) в батарее, определив необходимое число арифметических операций в секунду, а также необходимый объем памяти для каждой модели ЛИАБ из упомянутого класса моделей, выбираем микроконтроллер. В первую очередь выбирается микроконтроллер, имеющий требуемый объем оперативной и энергонезависимой памяти; в случае нехватки аналоговых входов выбранного микроконтроллера (т.е. число входов микроконтроллера меньше требуемого числа аналоговых входов $n_{\text{а}}$, определяемого в силу (1) и (2)) выбирается коммутатор, управляемый цифровыми пинами выбранного микроконтроллера. Как известно, число цифровых пинов современных микроконтроллеров больше числа аналоговых входов; аналогично мультиплексор позволяет меньшим числом управляющих пинов переключать большее число аналоговых выходов датчиков. Это и дает возможность расширить число аналоговых входов микроконтроллера $n_{\text{а.мк}}$. Расширенное мультиплексорами число аналоговых входов микроконтроллера $n_{\text{а.мк.расш}}$ определяется в силу:

$$n_{\text{а.мк.расш}} = n_{\text{а.мк}} + \sum_{i=1}^{m}(n_{\text{к}.i} - 1), \quad (3)$$

где m - число расширяющих коммутатоторов; $n_{\text{к}.i}$, $i = 1, m$ - число коммутируемых каналов i-го расширяющего коммутатора. Расширенное число выводов микроконтроллера $n_{\text{а.мк.расш}}$, полученное в силу (3), не должно быть меньшим необходимого числа аналоговых входов микроконтроллера $n_{\text{а}}$. Уравнение (3), таким образом, дает возможность выбрать тип коммутаторов с различными числами коммутируемых каналов. Следует отметить, что коммутатор датчиков напряжения коммутирует как выходы датчиков, так и управление светодиодами (видно из рис. 2). На управление светодиодами выбирается один цифровой пин микроконтроллера, который через коммутаторы подключается к светодиодам оптопары соответствующего датчика (рис. 2б).

Выбор опорного напряжения АЦП микроконтроллера осуществляется из условия, в соответствие с которым аналоговый вход микроконтроллера должен иметь возможность измерения как опорных величин, так и измеряемых величин. При этом опорное напряжение АЦП микроконтроллера должно быть близким к максимальному напряжению, даваемому датчиками величин, показанных на рис. 1. Поэтому датчики, показанные на рис. 1, необходимо проектировать так (в том числе и с использованием уровня рис. 4), чтобы их напряжения на выходе занимали весь диапазон АЦП микроконтроллера (соответствующему выбранному опорному напряжению).

Проектирование датчика напряжения (рис. 2) с использованием методов электротехники [15] осуществляется на основе следующих положений:

– токи во вторичной обмотке трансформатора Т существенно меньше токов в первичной обмотке трансформатора Т;

– параметры контура $R_{\text{ТО.ф}}$-$\text{C}_{\text{ТО.ф}}$-Т должны быть такими, чтобы переходные процессы в этом контуре были апериодическими, а также постоянная времени переходных процессов не превышало 1% времени переключения оптопар;

– в схеме летающего конденсатора токоограничивающее сопротивление $R_{\text{ТО}}$ должно быть достаточным, чтобы ток через оптопару не превышал предельно-допустимое значение;

– при этом значение сопротивление $R_{\text{ТО}}$ и значение емкости $\text{C}_{\text{л.к}}$ должно быть таким, чтобы постоянная времени заряда летающего конденсатора до измеряемой постоянной составляющей напряжения не превышало 1% времени переключения оптопар;

– значение емкости $\text{C}_{\text{л.к}}$ должно быть таким, чтобы время измерения напряжения аналоговым входом микроконтроллера не превышало 1 – 5% постоянной времени разряда летающего конденсатора $\text{C}_{\text{л.к}}$;

– значение емкости $\text{C}_{\text{л.к}}$ не должно превышать 1% значения емкости $\text{C}_{\text{ТО.ф}}$ (необходимо для минимального воздействия на заряд конденсатора $\text{C}_{\text{ТО.ф}}$);

– значения сопротивлений делителей напряжения в схеме уровня должны быть такими, чтобы входная разность напряжений не превышала значения, при котором инструментальный усилитель переходит в состояние насыщения, а также значения таких сопротивлений должны быть на порядок меньше входного сопротивления;

– значение сопротивления R_G должно обеспечивать коэффициент усиления, достаточный для полноценного использования АЦП микроконтроллера.

В процессе проектирования упомянутым путем датчика напряжения, мы выбираем опорное напряжение АЦП микроконтроллера. Затем проектируем датчик температур. Сопротивление термистора при температуре 25°С берем на порядок меньше входного сопротивления АЦП микроконтроллера. Постоянное сопротивление в датчике температуры (рис. 3а) берем таким, что при минимальном сопротивлении термистора напряжение на выходе датчика температуры равно опорному напряжению микроконтроллера. Аналогично сопротивления в датчике тока (рис. 3б) берем такими, чтобы суммарное сопротивление было на порядок меньше входного сопротивления АЦП микроконтроллера.

Авторами по приведенной методике проектирования была спроектирована панель сбора данных для ЛИАБ из 4-х ЛИА с использованием микроконтроллерной платы Ардуино. Спроектированная панель отправляет данные в СКМ Scilab.

Заключение

Предложенная в настоящей статье методика проектирования усовершенствованной системы сбора данных позволяет проектировать систему сбора данных, имеющую повышенную помехоустойчивость, а также возможность расширения на любое число аккумуляторов в ЛИАБ благодаря использованию гальванической развязки по датчикам напряжения, тока и температур [10]. Такая усовершенствованная установка сбора данных, спроектированная по приведенной в настоящей статье методике, может быть разработана для любого типа ЛИАБ, более того, благодаря использованию микроконтроллеров разных типом (и с разными мультиплексорами), предназначения таких ЛИАБ может

быть различным – от ЛИАБ для роботов-пылесосов, электросамокатов и электровелосипедов до авиационных и авиакосмических батарей. В том числе и ЛИАБ для полностью электрических самолетов.

Учет постоянной и переменной составляющих напряжения, тока и температуры позволяет повысить полноту идентификации параметров каждого ЛИА в батарее и соответственно точность полноту модели каждого ЛИА и всей батареи (благодаря использованию ММПЭП). Это дает возможность более точной диагностики и прогнозирования технического состояния каждого ЛИА в ЛИАБ и всей батареи в целом, что дает возможность усовершенствованной балансировки ЛИАБ, повысив энергоэффективность батареи, а также ее надежность и долговечность.

Литература

1. Кедринский И.А., Яковлев В.Г. Li-ионные аккумуляторы. - Красноярск: Платина, 2002. - 268 с.
2. Иванов В.В., Мараховский И.В., Кравченко С.В. Формирование требований к авиационным литий-ионным аккумуляторным батареям. / Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского. - 2013. - № 1. - с. 325-329.
3. Резницких О.Г., Истомина А.С., Борисевич С.С. и др. Фазовая диаграмма системы этиленкарбонат-сульфолан. / Журнал физической химии. - 2021. - Т. 95, № 6. - с. 867-874.
4. Корчун А.В., Евщик Е.Ю., Добровольский Ю.А. и др. Кремний-углеродный материал отрицательного электрода литий-ионного аккумулятора и способ его приготовления. / Патент на изобретение RU 2767168 C1. - 2022. – Т. 95, № 6. - с. 867-874.
5. Kalashnik N.A., Kalashnik A.V., Korchun O.V. and etc. Electrophysical properties of low-density composite materials based on inorganic matrices. / Materials today: Proceedings. - 2022. - Т. 5. - с. 25928 - 25932.
6. Zhuravlev V.D., Nefedova K.V., Evshchik E.Yu. and etc. Effect of lithium borate coating on the electrochemical properties of LiCOO2 electrode for lithium-ion batteries. / Chimica Techno ACTA. - 2021. - Т. 8, No. 1. - с. 20218101.
7. Khalyutin S.P., Starostin I.E., Agafonkina I.V. Generalized Method of Mathematical Prototyping of Energy Processes for Digital Twins Development. / Energies. - 2023. - 16(4). - 1933; https://doi.org/10.3390/en16041933.
8. Старостин И.Е., Дружинин А.А. Аналитическое приближение решений уравнений метода математического прототипирования энергетических процессов путем качественного анализа этих уравнений. / Надежность и качество сложных систем. - 2023. - № 2 (42). - С. 22–31.
9. Starostin I.E., Druzhinin A.A. The concept of a software and technological platform for digital twins based on energy dynamics methods. / 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). - 2023. - pp. 1 – 6.
10. Старостин И.Е., Гавриленков С.И. Усовершенствованная система сбора данных с каждого аккумулятора в литий-ионной аккумуляторной батарее. / Труды Национальной научно-практической конференции «Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты». - 2022. - С. 372 - 377.
11. Kandler Smith, Chao-Yang Wang. Solid-state diffusion limitations on pulse operation of a lithium ion cell for hybrid electric vehicles. / Journal of Power Sources. - 2006. - V. 161. - pp. 628–639.
12. Багоцкий В.С. Основы электрохимии. - М.: Химия, 1988. - 400 с.
13. Рыкованов А.С., Беляев С.С. Активные и пассивные системы балансировки литий-ионных аккумуляторных батарей // Компоненты и технологии. - 2014. - № 3(152). - С. 121.
14. Сихуа, Уэн Выравнивание заряда батарей обеспечивает долгое время работы и продлевает срок службы // Analog application journal. - 2009. - 1Q. - URL: www.Ti.com/AAJ.
15. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - М.: Юрайт, 2016. - 702 с.
16. Гальваническая развязка. - URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гальваническая_развязка#Ссылки
17. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Т.1. Общая теория измерений. - СПб: Питер, 2010. - 192 с.

ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ АВИАЦИОННЫХ ЛИТИЙИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА БАЗЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Старостин И.Е., Дружинин А.А., Мурашкина М.Е.
Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА), г. Москва
+7 (977) 613-42-35, starostinigo@yandex.ru

Статья посвящена разработке программно-технологической платформы цифровых двойников литий-ионных аккумуляторных батарей. Предлагаемая платформа сочетает в себе возможности построения и хранения математических моделей литий-ионных аккумуляторных батарей конкретной марки, а также расчета характеристик каждого экземпляра аккумулятора конкретной марки в батарее и всей батареи. Возможности построения и хранения моделей реализуются на земле, а расчета характеристик батареи реализуется на земле и на борту летательного аппарата.

Ключевые слова: цифровой двойник, программно-технологическая платформа цифровых двойников, авиационная литий-ионная аккумуляторная батарея.

Software and technology platform of digital twins of aircraft lithium-ion batteries based on the method of mathematical prototyping of energy processes. Starostin I.E., Druzhinin A.A., Murashkina M.E. Moscow State Technical University of Civil Aviation (MGTU GA), Moscow.

The article is devoted to the development of a software and technological platform for digital twins of lithium-ion batteries. The proposed platform combines the possibilities of building and storing mathematical models of lithium-ion batteries of a specific brand, as well as calculating the characteristics of each instance of a battery of a specific brand in a battery and the entire battery. The possibilities of building and storing models are implemented on the ground, and the calculation of battery characteristics is implemented on the ground and on board the aircraft.

Keywords: digital twin, digital twin software and technology platform, aviation lithium-ion battery.

Введение

Высокие удельные энергетические характеристики авиационных литий-ионных аккумуляторных батарей (ЛИАБ) делают батареи одним из перспективных авиационных химических источников электрической энергии [1]. Однако широкому внедрению ЛИАБ в авиацию препятствует неустойчивость батарей к перезаряду и переразряду [1]. Для борьбы с неустойчивостью ЛИАБ к перезаряду и переразряду в настоящее время ведутся работы по совершенствованию материалов электродов и электролита литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), а также по совершенствованию системы управления ЛИАБ [1]. В основу математического ядра системы управления, в том числе и ЛИАБ, положена математическая модель ЛИА в батарее, а также всей ЛИАБ. Параметры такой математической модели непрерывно обновляются в результате непрерывного мониторинга ЛИАБ (согласно ГОСТ Р 57700.37-2021 цифровой двойник).

Ранее авторами был предложен метод математического прототипирования энергетических процессов (ММПЭП) для построения адекватных моделей (т.е. не противоречащих общим физическим законам, т.е. законам сохранения, второму началу термодинамики, и т.д., а также физическим особенностям протекания процессов в конкретной системе), положенных в основу математического ядра цифровых двойников [2,3]. Затем в работе [4] была разработана программно-технологическая платформа цифровых двойников (ПТПЦД) и реализована авторами на базе СКМ Scilab. Предложенная в [4] ПТПЦД представляет собой концепцию декларативного программирования и является универсальной [4]. И соответственно на базе предложенной в [4] ПТПЦД может быть разработана ПТПЦД авиационных ЛИАБ, чему и посвящена настоящая работа.

Программно-технологическая платформа цифровых двойников

Пользовательский интерфейс предложенной авторами в [4] ПТПЦД, основывающейся на ММПЭП, представляет собой концепцию декларативного программирования, т.е. представляет собой блок-диаграмму физических и химических процессов (модельно-ориентированное проектирование [5,6]), описание преобразованных моделей (которые также могут быть заданы в виде блок-диаграммы), файлы экспериментальных данных, описание плана построения модели системы [4]. ПТПЦД решает следующие подзадачи задачи построения модели системы [2,4]:

– генерация случайных значений параметров модели исследуемой системы;
– вычисление по модели для сгенерированных параметров динамик наблюдаемых и контрольных характеристик системы;
– вычисление по полученной динамикам параметров преобразованной модели.

Как нетрудно видеть [4], предложенная ПТПЦД дает возможность рассчитывать некие параметры по уже готовой модели, т.е. решать с помощью построенных цифровых двойников практические задачи диагностики и прогнозирования технического состояния системы. Для этого также пользовательский интерфейс рассматриваемой ПТПЦД также подразумевает задание плана расчета параметров системы и остальных упомянутых выше исходных данных [4]. Причем, предложенная ПТПЦД может быть реализована как в виде микросервисов, так и в виде монолитной архитектуры [4]. Таким образом, для построения ПТПЦД на безе предложенной в [4] заключается в разработке плана построения модели ЛИА и плана расчета характеристик ЛИА.

План построения и эксплуатации модели авиационной литий-ионной аккумуляторной батареи

Построение или обновление параметров математической модели авиационной ЛИАБ может быть осуществлено как на основе данных, полученных в результате технического обслуживания ЛИАБ на земле, так и на основе данных, полученных в результате мониторинга батареи на борту летательного аппарата. Само построение модели осуществляется на земле, затем построенная модель переносится на борт летательного аппарата (рис. 1). С помощью построенной модели на борту летательного аппарата осуществляется непрерывная диагностика и прогнозирование технического состояния ЛИАБ на основе непрерывного мониторинга данных напряжения, тока и температуры каждого ЛИА в батарее и тока во внешней цепи (рис. 1). Данные непрерывного мониторинга компонентов авиационного электрооборудования (в том числе и ЛИАБ) могут также передаваться с борта летательного аппарата на землю (рис. 1).

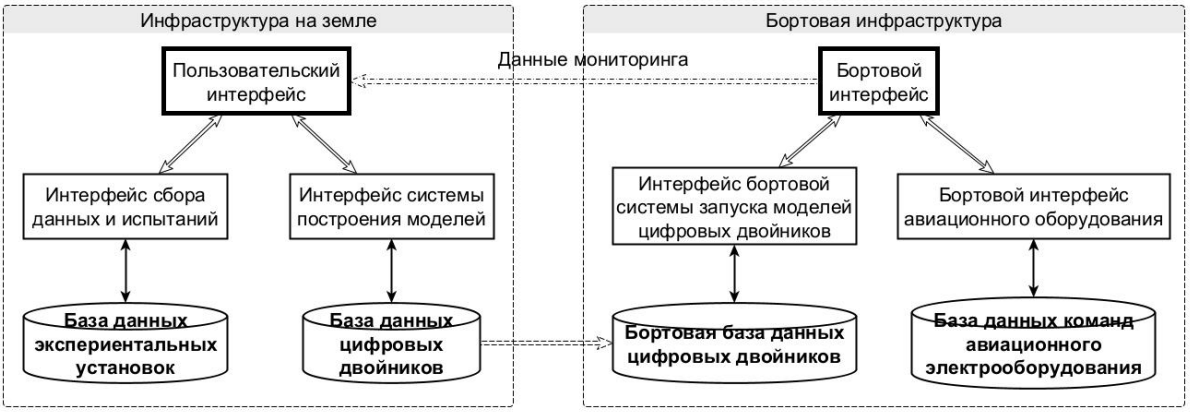


Рисунок 7 – Инфраструктура программно-технологической платформы цифровых двойников литий-ионных аккумуляторных батарей

На борту летательного аппарата цифровые двойники авиационного оборудования (в том числе и ЛИАБ) – математических моделей ЛИАБ для разных режимов работы и датчиков батареи конкретной марки (рис. 1). Исходя из марки ЛИАБ и ее режима работы бортовая платформа цифровых двойников берет параметры режима работы из базы данных команд авиационного электрооборудования, а исходя из этих параметров берет модель ЛИАБ на основе имеющихся датчиков (рис. 1). Затем данные непрерывного мониторинга сохраняются, и на основе этих данных с помощью построенной на земле модели ЛИАБ осуществляется прогноз технического состояния ЛИАБ.

В соответствие с программой (с планом) диагностики и прогнозирования технического состояния ЛИАБ (рис. 2) в момент включения в работу батареи формируется программа мониторинга, т.е. план решения задач по диагностики и прогнозирования технического состояния ЛИАБ. Параллельно с этим осуществляется формирование контролируемых параметров и критериев работоспособности, исходя из цели мониторинга. Цели мониторинга могут быть разные в зависимости от предназначения авиационной ЛИАБ (ЛИАБ на традиционном самолете, или на полностью электрическом самолете [7 – 11]). В соответствие с режимом работы ЛИАБ выбирается модель батареи на базе модели аккумуляторов в ней (рис. 1). Затем на основе собранных данных мониторинга и выбранной модели определяются контролируемые параметры и соответственно критериев работоспособности ЛИАБ. На базе рассчитанных контролируемых параметров и критериев работоспособности ЛИАБ определяются параметры алгоритма балансировки ЛИАБ. Благодаря программе непрерывного мониторинга технического состояния ЛИАБ (показанной на рис. 2), и обработке данных мониторинга с использованием моделей, полученных методом ММПЭП [2 – 4], осуществляется усовершенствованная балансировка ЛИАБ, что дает возможность повышения энергоемкости батареи, а также повышение ее надежности и долговечности в том числе и благодаря своевременной замене отказавших ЛИА.



Рисунок 8 – Программа диагностики и прогнозирования технического состояния литий-ионных аккумуляторных батарей

Нетрудно видеть, что стадии проведения мониторинга и расчета контролируемых параметрах следует на борту летательного аппарата осуществлять параллельными потоками.

Построение математической модели ЛИАБ может осуществляться как в процессе экспериментальных исследований ЛИАБ на земле, так и в результате мониторинга батареи не борту летательного аппарата (рис. 1). Экспериментальные исследования ЛИАБ на земле могут быть осуществлены путем подключения к предлагаемой ПТПЦД установки для экспериментальных исследований ЛИАБ. В таком случае тип экспериментальных установок выбирается из соответствующей базы данных. В соответствие с таким выбором формируется программа испытаний, в соответствие с которой осуществляются испытания ЛИАБ с последующим построением модели в соответствие с планом, показанным на рис. 3. В случае построения модели из данных непрерывного мониторинга на борту ЛИАБ сразу осуществляем построения модели в соответствие с планом, показанным на рис. 3.

Построение модели ЛИА осуществляется в хранящимся в базе данных цифровых двойников классе моделей, задаваемых в виде блочных диаграмм (модельно-ориентированный подход [5,6]). Построение модели начинается с декомпозиции экспериментальных данных на обучающие и тестовые данные [12 – 14]. Вначале генерируется множество возможных значений параметров моделей, затем на этом множестве параметров моделируются динамики процессов и как следствие динамики наблюдаемых и контролируемых параметров ЛИА [2]. Затем на множестве полученных динамик строим функции для

параметров модели с точностью до параметров, определяемых из экспериментальных данных [2,3,15]. Затем осуществляется обучение модели, т.е. идентификация из экспериментальных обучающих данных параметров модели с последующей проверкой полученной модели на тестовых экспериментальных данных [12 – 16]. И в заключении рассчитываются показатели точности модели ЛИА.

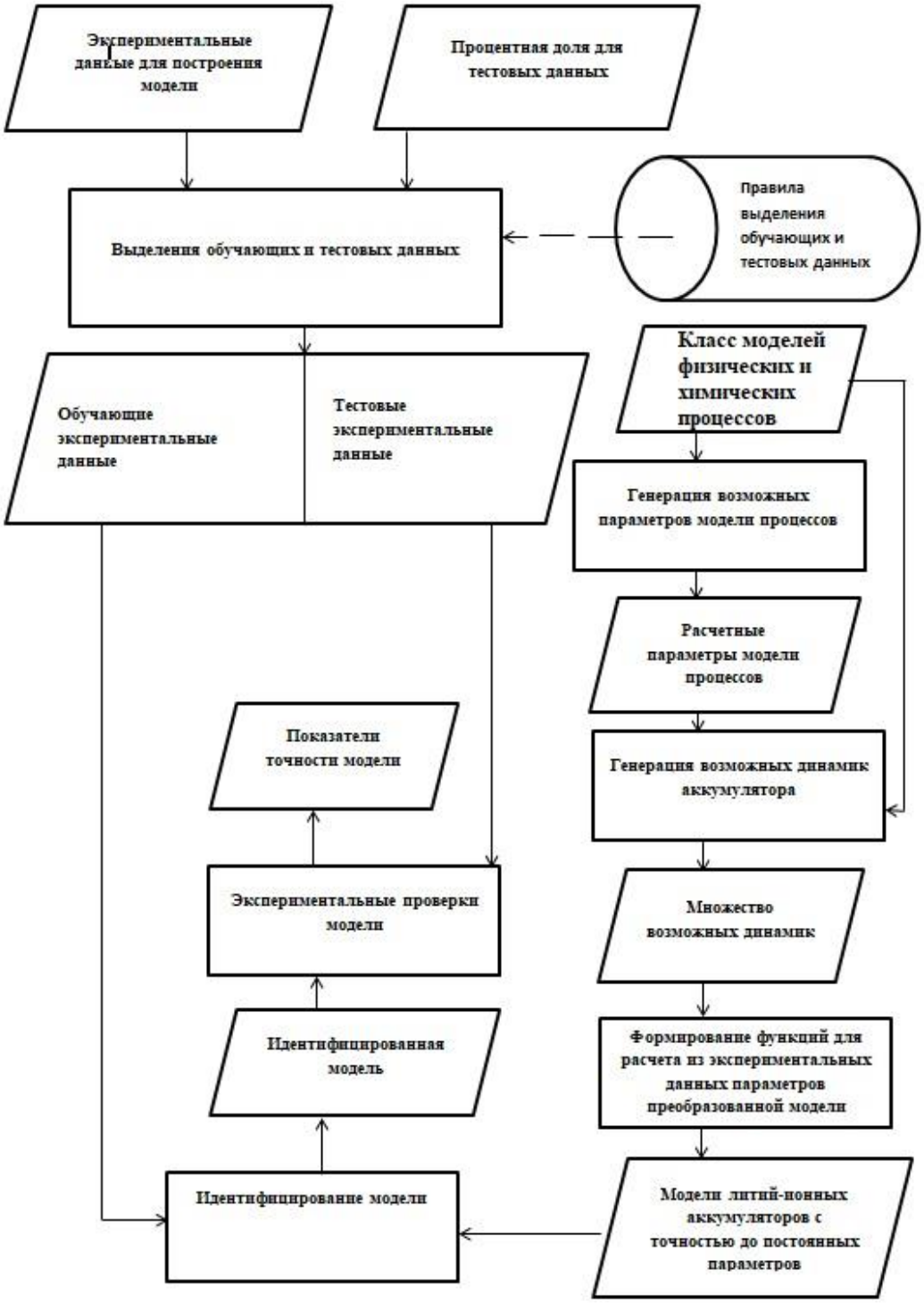


Рисунок 9 – План построения модели литий-ионной аккумуляторной батареи на земле

Благодаря использованию в основе приведенного подхода ММПЭП гарантирует корректность построенной модели, т.е. ее не противоречивость законам сохранения, второму началу термодинамики, а также физическим особенностям процессов в ЛИА [2,3,15]. Это в свою очередь гарантирует повышение удельных энергетических показателей ЛИАБ а также показателей надежности и долговечности ЛИАБ благодаря использованию усовершенствованных алгоритмов диагностики и прогнозирования

технического состояния ЛИАБ в основе математического ядра алгоритмов балансировки батареи а также благодаря своевременной замене отказавших элементов ЛИАБ.

Заключение

Предложенная ПТПЦД авиационных ЛИАБ благодаря использованию в основе математического ядра ММПЭП позволяет усовершенствовать систему управления ЛИАБ на предмет повышения удельных энергетических показателей батареи, а также показателей надежности и долговечности ЛИАБ. Совершенствование алгоритмов балансировки батареи становится возможным благодаря более точной диагностике и прогнозированию технического состояния каждого ЛИА в батарее, даваемой ММПЭП [2,3] применительно к ЛИА. Что дает более эффективное распределение нагрузки на элементы в батарее балансиром. Это возможно благодаря тому, что ММПЭП позволяет учесть все необходимые факторы протекания физических и химических процессов, в том числе и нелинейности [2,3].

Из схем, показанной на рис. 2 и 3, видно, что дообучение модели ЛИАБ можно также осуществить и борту летательного аппарата в параллель с непрерывным мониторингом технического состояния батареи.

Литература

1. Иванов В.В., Мараховский И.В., Кравченко С.В. Формирование требований к авиационным литий-ионным аккумуляторным батареям. / Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского. - 2013. - № 1. - с. 325-329.
2. Khalyutin S.P., Starostin I.E., Agafonkina I.V. Generalized Method of Mathematical Prototyping of Energy Processes for Digital Twins Development. / Energies. - 2023. - 16(4). - 1933; https://doi.org/10.3390/en16041933.
3. Старостин И.Е., Дружинин А.А. Аналитическое приближение решений уравнений метода математического прототипирования энергетических процессов путем качественного анализа этих уравнений. / Надежность и качество сложных систем. - 2023. - № 2 (42). - С. 22–31.
4. Starostin I.E., Druzhinin A.A. The concept of a software and technological platform for digital twins based on energy dynamics methods. / 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). - 2023. - pp. 1 – 6.
5. Петрунина Е.В. Функциональные графы в имитационном моделировании сложных систем. // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование: теория и практика»; в 2-х т. - 2015. - С. 280 – 284.
6. Овчинников В.А. Графы в задачах анализа и синтеза структур сложных систем. - М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2014. - 423 с.
7. Резников С.Б., Киселев М.А., Морошкин Я.В. и др. Система электроснабжения с распределенным дифференциальным звеном постоянного повышенного напряжения и модульно-масштабируемой архитектурой для полностью электрифицированных самолетов. / Вестник Московского авиационного института. - 2018. - Т. 25, № 1. - С. 157 - 166.
8. Лёвин А.В., Мусин С.М., Харитонов С.А. и др. Электрический самолёт: концепция и технологии. - Уфа: УГАТУ, 2014. - 388 с.
9. Резников С.Б., Климова С.Р., Харченко И.А. и др. Резервно-аккумуляторные источники бесперебойного питания для автономных и сетевых систем электроснабжения со звеном постоянного повышенного напряжения. // Силовая электроника. - 2016. - № 2. - С. 64–68.
10. Лёвин А.В., Алексеев И.И. Полностью электрифицированный самолет – от концепции к реализации. // Авиационная промышленность. - 2006. - № 2. - С. 24-31.
11. Карасев Д.А., Арутюнов А.Г., Загордан А.А. К вопросу создания магистральных транспортных самолетов с электрическими силовыми установками. // Вестник Московского авиационного института. - 2015. - Т.22, № 1. - С. 132–139.
12. Flach P. Machine Learning. The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. - Cambridge: Cambridge University Press, 2015. - 400 p.
13. Brink H., Richards J.W., Fetherolf M. Real Word. Machine Learning. - Shelter Island, New York, USA: Manning Publications, 2017. - 338 p.
14. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. - Upper Saddle River, USA: Prentice hall, 2006. - 1105 p.
15. Старостин И.Е., Дружинин А.А. Использование машинного обучения с учителем для построения математических моделей систем методом математического прототипирования энергетических процессов. / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». - 2023. - Т. 1. - С. 66–72.
16. Eykhoff P. Systems identification: parametrs and state estimation. - Eindhoven, Netherlands: University of technology, 1975. - 680 p.

МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРЕЖДЕВРЕМЕННОЙ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ ОТ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ПРИЧИН

Сукиасян А.Г.
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
+7 (906) 044-85-33, sukiasyan.ag@rea.ru

В работе представлены результаты исследования преждевременной смертности населения в регионах России от некоторых социально значимых причин смерти в среднем за период с 2006 по 2021 гг. методами многомерного статистического анализа. Проанализированы основные статистические характеристики исследуемых показателей и среднего возраста смерти от социально значимых причин смерти, выявлены наиболее уязвимые возрастные группы. Методом главных компонент осуществлена визуализация регионов в сокращенном до трехмерного признаковом пространстве. На основе стандартизированных коэффициентов смертности реализованы методы кластеризации регионов России по значениям характеристик социальной напряженности.

Ключевые слова: преждевременная смертность, хронический алкоголизм, алкогольный цирроз печени, психические расстройства, алкогольная кардиомиопатия, случайные отравления алкоголем, хронический алкоголизм, самоубийства, убийства, ВИЧ, гепатиты, метод главных компонент, метод *k*-средних, метод силуэтов, индекс Дэвиса-Боулдина, DBSCAN.

Multivariate analysis of premature mortality in Russian regions from socially significant causes. Sukiasyan A.G. Plekhanov Russian University of Economics.

The paper presents the results of the research, performed for premature mortality in Russian regions from several socially significant causes on average for the period from 2006 to 2021 based on multivariate statistical methods. The main statistics of the studied indicators and the mean age of death are analyzed, the most vulnerable age groups are identified. The implementation of the principal component method made it possible to visualize objects in a reduced to three-dimensional space. On the basis of standardized mortality rates, clustering methods of Russian regions in accordance with the levels of characteristics of social tension are implemented.

Keywords: premature mortality, chronic alcoholism, alcoholic cirrhosis of the liver, mental disorders, alcoholic cardiomyopathy, accidental alcohol poisoning, chronic alcoholism, suicide, homicide, HIV, hepatitis, principal component analysis, *k*-means method, silhouette method, Davies-Bouldin index, DBSCAN.

Введение

Обеспечение высокого качества здоровья человека и уровня его развития являются основной целью деятельности развитого государства. Для достижения этой цели в России разработаны и реализуются государственные программы, направленные на принятие мер, способствующих созданию благоприятных для высокого качества жизни населения [1]. К числу государственных программ относится программа «Развитие здравоохранения», основной целью которой является повышение ожидаемой продолжительности жизни до 78 лет к 2030 году путём принятия различных мер, в том числе направленных на повышение безопасности населения [2, 3]. Это в свою очередь подразумевает снижение уровня социальной напряженности в регионах страны в том числе путем сокращения преждевременной смертности населения от социально значимых причин смерти.

В рамках данного исследования проанализировано положение 79 регионов России по уровням смертности в пересчете на 100000 стандартного населения от следующих социально значимых причин смерти за период с 2006 по 2021 гг. согласно номенклатуре Международной классификации болезней:

- хронический алкоголизм;
- алкогольный цирроз печени;
- алкогольная кардиомиопатия;
- психические расстройства, связанные с употреблением алкоголя;
- случайные отравления алкоголем;
- хронический панкреатит алкогольной этиологии;
- гепатиты;
- ВИЧ;
- туберкулез;
- убийства;
- самоубийства;
- причины, связанные с употреблением наркотических средств.

Показатели смертности населения были стандартизированы путём приведения их к единой возрастной структуре населения России. В качестве стандартной была выбрана возрастная структура

населения России 2016 г. В общем виде формула, использованная для процедуры стандартизации, имеет вид [5]:

$$\tilde{z}^{j}_{(x,x+5)}(t) = N^{s}_{(x,x+5)} \cdot \frac{Z^{j}_{(x,x+5)}(t)}{N_{(x,x+5)}(t)} \cdot 100000, \quad (1)$$

где $\tilde{z}^{j}_{(x,x+5)}(t)$ – стандартизированный коэффициент смертности населения пятилетней возрастной группы $(x, x+5)$ лет в j-м регионе в году t; $Z^{j}_{(x,x+5)}(t)$ – численность умерших в пятилетней возрастной группе $(x, x+5)$ лет в j-м регионе в году t; $N_{(x,x+5)}(t)$ – численность населения в пятилетней возрастной группе $(x, x+5)$ лет в j-м регионе в году t; $N^{s}_{(x,x+5)}$ – стандарт РФ 2016 г. (доля стандартного населения в пятилетней возрастной группе $(x, x+5)$ лет в j-м регионе в году t.

Стандартизацию коэффициентов смертности к единой возрастной структуре целесообразно проводить в случае исследования динамики смертности в долгосрочном периоде, поскольку в длительном периоде возрастная структура населения претерпевает существенные изменения, что сказывается и на уровнях смертности от различных причин смерти, поскольку в ходе научных исследований выявлено наличие зависимости смертности от различных причин от возраста, т.е. для различных возрастных групп характерны те или иные причины смерти [4, 5].

Наибольшим средним уровнем смерти по регионам России среди вышеперечисленных социально значимых причин смерти согласно результатам, представленным в табл. 1, характеризуются самоубийства – 20,38 случаев на 1000000 человек стандартного населения, наименьшим – хронический панкреатит алкогольной этиологии (0,24 случаев на 1000000 человек стандартного населения. Следует обратить внимание на значения коэффициентов вариации для рассматриваемых показателей, которые составляют 58,0-174,0%, что свидетельствует о существенных различиях в уровнях смертности от всех представленных социально значимых причин смерти в регионах России.

Таблица 1 – Основные статистические характеристики показателей смертности населения от социально значимых причин в регионах России в среднем за период с 2006 по 2021 гг.*

Причины смерти	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Туберкулез	10,35	8,18	79,0%
Убийства	10,76	7,51	69,8%
Самоубийства	20,38	11,81	58,0%
ВИЧ	5,59	5,92	105,9%
Причины, связанные с употреблением наркотических веществ	1,66	1,76	106,2%
Гепатиты	0,68	0,90	132,3%
Хронический алкоголизм	2,24	3,90	174,0%
Психические расстройства, связанные с употреблением алкоголя	0,51	0,77	152,1%
Алкогольный цирроз печени	7,54	5,47	72,5%
Случайные отравления алкоголем	12,70	7,95	62,6%
Алкогольная кардиомиопатия	15,07	12,05	79,9%
Хронический панкреатит алкогольной этиологии	0,24	0,22	91,8%

* получено автором с использованием источников [6, 7].

Принятие и реализация мер, направленных на снижение и выравнивание сложившейся неблагоприятной обстановки в регионах страны особо важно, поскольку наиболее уязвимой группой населения, подверженным негативному влиянию факторов социальной напряженности, является трудоспособное население (см. табл. 2). Согласно полученным оценкам, средний возраст смерти от основных социально значимых причин смерти в регионах России варьирует от 34,99 лет (причины, связанные с употреблением наркотических веществ) до 51,77 лет (хронических алкоголизм). При этом, в отличие от коэффициентов смертности, регионы России по значениям среднего возраста смерти характеризуются довольно низкой дифференциацией. Наибольшие коэффициенты вариации зафиксированы для уровней среднего возраста смерти от хронического панкреатита алкогольной

этиологии (12,0%) и психических расстройств, связанными с употреблением алкоголя (10,8%), наименьший – для уровней среднего возраста смерти от убийств (2,8%) и туберкулеза (3,9%).

Таблица 2 – Основные статистические характеристики показателей среднего возраста смерти населения от социально значимых причин в регионах России в среднем за период с 2006 по 2021 гг.*

Причины смерти	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Туберкулез	47,70	1,87	3,9%
Убийства	42,90	1,17	2,8%
Самоубийства	44,04	2,89	6,6%
ВИЧ	36,86	2,30	6,3%
Причины, связанные с употреблением наркотических веществ	34,99	2,94	8,4%
Гепатиты	47,37	4,66	9,9%
Хронический алкоголизм	51,77	2,70	5,3%
Психические расстройства, связанные с употреблением алкоголя	49,44	5,30	10,8%
Алкогольный цирроз печени	50,83	2,11	4,2%
Случайные отравления алкоголем	48,65	1,93	4,0%
Алкогольная кардиомиопатия	51,53	2,43	4,7%
Хронический панкреатит алкогольной этиологии	50,22	6,00	12,0%

* получено автором с использованием источников [6, 7].

Постановка проблемы

Для возможности проведения эффективной социально-экономической политики, направленной на сокращение преждевременной смертности населения трудоспособного возраста в регионах России от социально значимых причин смерти целесообразно выявить схожие по уровню и характеристикам социальной напряженности регионы, что позволит не только осуществлять оперативный мониторинг, но и своевременно реагировать на происходящие в данной группе регионов изменения и принимать конкретные меры для выравнивания и повышения уровня социального благополучия. Сложность данной задачи заключается в ее многомерности, выражающейся в значительной трудоемкости процесса непосредственного анализа довольно большого объема данных с учетом количества регионов и рассматриваемого перечня причин смерти. Для решения данной задачи в рамках настоящего исследования применялись различные методы многомерного статистического анализа.

Корреляционный анализ показателей смертности населения, включающий оценку коэффициентов корреляции между социально значимыми причинами смерти, приведенных в табл. 3, позволяет сделать вывод о наличии слабых и умеренных корреляционных взаимосвязей между рассматриваемыми показателями. Сильная корреляционная зависимость наблюдается между уровнями убийств и самоубийств (значение коэффициента корреляции, рассчитанного для данной пары показателей, составило 0,813), а также хроническим алкоголизмом и психическими расстройствами, связанными с употреблением алкоголя (значение коэффициента корреляции составило 0,769). Результаты, представленные в табл. 3 свидетельствуют о достаточно слабом взаимном влиянии уровней смертности от социально значимых причин смерти, что позволяет использовать все рассматриваемые причины смерти для объединения схожих регионов в однородные по уровню социальной напряженности группы.

Большая размерность исходного признакового пространства не позволяет напрямую визуализировать рассматриваемый массив объектов (регионов) в пространстве изучаемых признаков и определить количество и состав групп регионов по схожим уровням смерти от социально значимых причин смерти. В связи с этим методом главных компонент была реализована процедура сокращения признакового пространства путем перехода от исходных признаков (причин смерти) к новым признакам (главным компонентам), каждая из которых представляет собой линейную комбинацию исходных признаков с некоторыми весами и содержит всю информацию об исходных признаках. Выбор первых трех главных компонент, в совокупности содержащих 80,2% дисперсии всех исходных признаков, позволил визуализировать объекты (регионы) в трехмерном пространстве и сделать некоторые выводы о возможности их дальнейшего объединения в группы (кластеры) по схожим характеристикам (см. рис. 1).

Исходя из представленной на рис. 1 визуализации положения регионов в пространстве первых трех главных компонент затруднительно выявить группы регионов, схожих по состоянию индикаторов

социальной напряженности, в том числе ввиду наличия существенного количества нетипичных регионов, отличающихся от основного массива регионов и других нетипичных объектов по значениям изучаемых признаков.

Таблица 3 – Корреляционная матрица взаимозависимости показателей смертности населения от социально значимых причин в регионах России в среднем за период с 2006 по 2021 гг.*

	Туберкулез	Убийства	Самоубийства	ВИЧ	Причины, связанные с употреблением наркотических веществ	Гепатиты	Хронический алкоголизм	Психические расстройства, связанные с употреблением алкоголя	Алкогольный цирроз печени	Случайные отравления алкоголем	Алкогольная кардиомиопатия
Убийства	0,524										
Самоубийства	0,409	**0,813**									
ВИЧ	0,438	0,274	0,197								
Причины, связанные с употреблением наркотических веществ	0,100	0,028	-0,134	0,477							
Гепатиты	0,117	0,225	0,026	0,131	0,220						
Хронический алкоголизм	-0,118	0,021	-0,051	-0,039	0,288	-0,064					
Психические расстройства, связанные с употреблением алкоголя	-0,051	0,012	-0,032	-0,196	0,074	-0,178	**0,769**				
Алкогольный цирроз печени	-0,164	0,216	0,227	-0,007	0,153	-0,188	0,119	0,083			
Случайные отравления алкоголем	0,073	0,461	0,596	0,085	0,101	-0,235	0,091	0,107	0,493		
Алкогольная кардиомиопатия	-0,047	0,349	0,246	0,116	0,121	0,024	0,116	0,162	0,387	0,360	
Хронический панкреатит алкогольной этиологии	-0,119	0,181	0,152	-0,085	0,091	0,065	0,273	0,196	0,372	0,183	0,213

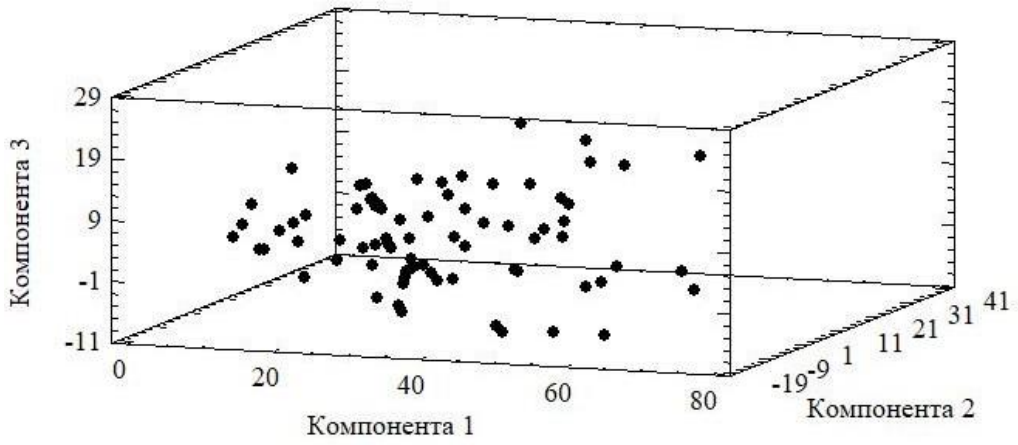


Рисунок 1 – Положение регионов России в пространстве первых трех главных компонент, содержащих информацию об исходных признаках (причин смерти)

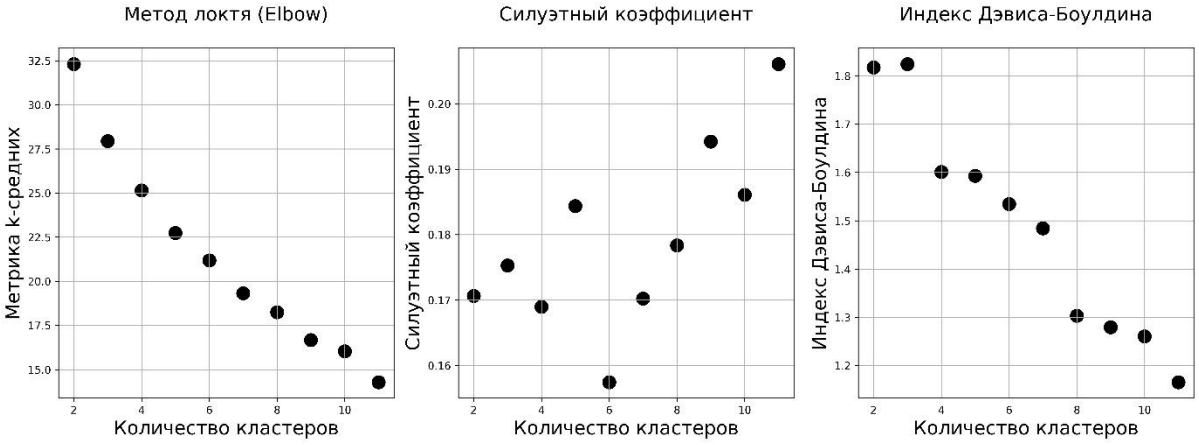
Для получения и обоснования однородных по уровню социальной напряженности групп регионов были реализованы процедуры кластерного анализа различными методами. На первом этапе была осуществлена попытка объединения регионов в группы в зависимости от уровней рассматриваемых причин смерти методами иерархического кластерного анализа, однако, как и в случае с главными компонентами, автор столкнулся с проблемами обоснования количества и состава групп по построенным

дендрограммам. В связи с этим были многократно реализованы процедуры итеративного кластерного анализа с учетом различных значений параметров алгоритмов с целью определения наиболее оптимального разбиения. Применение к стандартизированным показателям смертности от социально значимых причин смерти метода *k*-средних с различным количеством кластеров от двух до 12 со сравнением полученных сумм квадратов внутриклассовых расстояний методом локтя показал равномерное сокращение внутриклассовых расстояний при увеличении числа кластеров. Анализ графика, представленного на рис. 2а), не позволяет определить оптимальное количество кластеров, однако минимальное значение, характерное для наилучшей кластеризации достигается при числе кластеров, равных 12.

Сопоставление оценок силуэтных коэффициентов, показывающих на сколько среднее расстояние до объектов (регионов) текущего кластера отличается от среднего расстояния до объектов ближайшего кластера, приведенный на рис. 2б), с максимально возможным, равным единице (идеальное разбиение), и минимально возможным, равным -1 (присвоение объектам неправильного номера кластера), свидетельствует о достаточно низком качестве полученных кластеров. К примеру, при количестве кластеров, равном 6, значение силуэтного коэффициента, близкого к нулю свидетельствует получении разбиения с пересекающимися кластерами, когда один и тот же объект (регион) был включен одновременно в несколько кластеров. Все остальные значения силуэтных коэффициентов выше рассмотренного, но все также существенно меньше единицы. Наибольшее значение силуэтного коэффициента характерно для разбиения на 12 кластеров

В рамках исследования были также получены индексы Дэвиса-Болдуина как средние меры схожести кластеров с наиболее похожими кластерами, где показатель схожести рассчитывается как отношение внутриклассовых расстояний к межклассовым. Чем ближе значение индекса Дэвиса-Болдуина к нулю, тем лучше качество кластеризации. В нашем случае минимальное значение достигается при числе кластеров, равном 12.

Несмотря на то, что тремя методами получено, что разбиение регионов на 12 кластеров является оптимальным, данный результат нецелесообразно считать наилучшим, т.к. такое количество кластеров в сопоставлении с количеством исходных объектов (регионов) чрезмерно и свойственно кластеризации плохого качества.



а) б) в)

Рисунок 2 – Определение оптимального числа кластеров по уровням характеристик социальной напряженности в регионах России методом *k*-средних

Реализация метода кластеризации DBSCAN применительно к рассматриваемым данным с учетом варьирования значений минимального числа объектов в кластере (min_samples) и радиуса окрестности (eps) также приводит к получению неразличимых кластеров. Большинство комбинаций параметров данного метода приводит к выявлению значительного числа выбросов с отнесением оставшихся объектов в один кластер.

Заключение

Полученные в рамках данного этапа исследования результаты свидетельствуют о существенном разбросе регионов России по уровням характеристик социальной напряженности, затрудняющем определение похожих по состоянию социального благополучия групп регионов. Аналогичный многомерный статистический анализ, проведенный на основе данных о среднем возрасте смерти в регионах России от рассматриваемых социально значимых причин смерти, показал результаты, практически идентичные приведенным ввиду слабой различимости среднего возраста смерти в регионах России. С учетом вышеизложенного считаем целесообразным продолжить данное исследование и

определить основные макроэкономические факторы, характеризующие уровень социально-экономического положения регионов России, оказывающие наибольшее влияние на уровень социальной напряженности на основе функциональных зависимостей, позволяющих обосновать и принять эффективные меры, направленные на повышение социального благополучия населения регионов России.

Благодарности

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ на тему "Модели, методы и алгоритмы искусственного интеллекта в задачах экономики для анализа и стилизации многомерных данных, прогнозирования временных рядов и проектирования рекомендательных систем", номер проекта FSSW-2023-0004.

Литература

1. Государственные программы Российской Федерации. Официальный портал Госпрограмм РФ / [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://programs.gov.ru/Portal/home (последнее обращение 03.03.2023)
2. Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://economy.gov.ru/material/file/ffccd6ed40dbd803eedd11bc8c9f7571/Plan_po_dostizheniyu_nacionalnyh_celey_razvitiya_do_2024g.pdf (последнее обращение 03.03.2023)
3. Паспорт. Информация по госпрограмме. Перечень государственных программ. Госпрограммы. Официальный портал Госпрограмм РФ / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://programs.gov.ru/Portal/programs/passport/01 (последнее обращение 03.05.2023)
4. Сукиасян, А. Г. Модели управления потенциалом воспроизводства населения регионов России на основе методов машинного обучения / А. Г. Сукиасян // Народонаселение. – 2022. – Том 25. – № 4. – С. 16-29. DOI: https://doi.org/10.19181/population.2022.25.4.2 EDN: ENCJAM
5. Тихомиров, Н.П. Методы обоснования стратегий преодоления демографического кризиса в регионах России / Н. П. Тихомиров, Т. М. Тихомирова // Фундаментальные исследования. – 2020. – № 5. – С. 160-166. EDN: DTFXSX
6. Федеральная служба государственной статистики / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/ (последнее обращение 05.03.2023)
7. Центр демографических исследований Российской экономической школы / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://demogr.nes.ru/ (последнее обращение 05.05.2023)

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ГРУПП СВЯЗАННЫХ ДИСЦИПЛИН УЧЕБНОГО ПЛАНА ДЛЯ БАКАЛАВРИАТА ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»

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 обширных экспертных оценках. Проектирование учебного плана строится на четком упорядочении некоторых входящих в его состав дисциплин. Для автоматизации процесса оптимизации расстановки дисциплин выполняется подготовка экспертного видения расстановки тех дисциплин, которые связаны семантически. Первый этап экспертного оценивания включает в себя составление наборов дисциплин, для которых требуется установить последовательность изучения. Проведенный анализ состава учебных планов и составление анкет для экспертного оценивания позволяют сделать выводы о необходимости учета взаимного расположении дисциплин в учебном плане направления «Информатика и вычислительная техника». Выделены группы связанных дисциплин и составлены предварительные списки дисциплин, входящих в каждую из выделенных групп для направления обучения «Информатика и вычислительная техника».

Ключевые слова: экспертная оценка, оптимизация, учебный план, система поддержки принятия решений.

Expert assessment of groups of related subjects of the curriculum for the bachelor studies in the direction " Computer science and engineering". Yurchishina M.V., Bushmeleva K.I., Surgut State University.

Design decision support systems are based on extensive expert assessment. Curriculum design requires a clear streamlining of some of its constituent subjects. To automate the process of optimizing the placement of

subjects, it is necessary to prepare an expert vision of the placement of those subjects that are semantically related. The first stage of expert evaluation includes the compilation of sets of subjects for which it is required to establish the sequence of study. The analysis of the composition of curricula and the compilation of questionnaires for expert assessment allow us to draw conclusions about the need to take into account the mutual arrangement of subjects in the curriculum of the direction "informatics and computer technology". Groups of related subjects have been identified and preliminary lists of subjects included in each of the selected groups have been compiled.

Keywords: expert assessment, optimization, curriculum, decision support system.

Введение

Проектирование учебных планов в системе высшего профессионального образования является трудоемким и сложным процессом. Система поддержки принятия решений (СППР) существенно снизила бы трудоемкость этого процесса. Для ее создания необходимо провести предпроектную подготовку.

Основные задачи, которые решаются при проектировании учебного плана: распределение дисциплин по семестрам, определение трудоемкости дисциплин, выбор форм контроля, распределение часов по видам деятельности студента [1]. Решение каждой из поставленных задач связано с решением других, например, таких как, для расстановки дисциплин по семестрам необходимо знать трудоемкость дисциплин, т.к. имеется ограничение на суммарную трудоемкость в году, в тоже время трудоемкость не является строго фиксированной величиной и при необходимости может быть скорректирована и т.п. При этом решение каждой задачи неоднозначно в условиях, установленных на государственном и местном уровне (федеральный государственный образовательный стандарт и распоряжения руководства учебного заведения). При этом оптимизация учебного плана может быть рассмотрена в нескольких различных смыслах. Особенно сложной из упомянутых задач является распределение учебных дисциплин по семестрам. При решении этой задачи существует несколько общих подходов. Некоторые работы предлагают построение интегральных критериев оптимизации, другие – выбор оптимального пути в графовом представлении учебной траектории [2,3,4]. Данная работа опирается на подходе, описанном в [1], предлагающем решать оптимизационную задачу с подробной системой ограничений, полученной из всех требований к учебному плану, формируемой при описании дисциплин и целевой функцией, позволяющей добиться конкретного эффекта. В указанной статье предложен вариант целевой функции, который дает наиболее равномерное распределение дисциплин, формирующих различные классы компетенций (универсальные, общепрофессиональные, профессиональные) [5]. Однако при создании СППР, позволяющей формировать оптимальный учебный план, вид целей функции можно выбрать иным или даже можно задать несколько различных целей в зависимости от потребностей составителя плана. При этом система ограничений для поставленной задачи не будет меняться при неизменности условий. Система ограничений должна описывать все условия, перечисленные в федеральном государственном образовательном стандарте и в локальных нормативно-правовых актах учебного заведения.

Упомянутая система ограничений включает несколько групп однотипных ограничений. Составление каждой группы ограничений требует получения экспертной информации. Одна из таких групп ограничений описывает привязки некоторых дисциплин к семестру изучения или связанную последовательность изучения дисциплин. При построении данной группы ограничений необходимо учитывать специфику направления обучения, поэтому в данной работе рассматривается одно направление обучения. Полученные экспертные оценки позволят сформировать наиболее явные ограничения и учесть их при проектировании системы.

Постановка задачи

Математическая модель оптимизации учебного плана, рассматриваемая в данной работе, включает группу ограничений, которые отвечают за нужную расстановку дисциплин, местоположение которых должно быть фиксированным, установление необходимых следований для связанных дисциплин. Формирование такой системы ограничений основано на экспертных знаниях преподавателей, которые точно представляют какие дисциплины должны быть изучены студентами для освоения преподаваемых дисциплин. С помощью составленной анкеты [6] проведен опрос 8 различных экспертов, удовлетворяющих установленным критериям. По результатам исследования необходимо было установить 4 основных факта.

1. Необходима ли группа математических дисциплин в курсе обучения по направлению бакалавриата «Информатика и вычислительная техника».
2. Необходима ли группа дисциплин, связанных с информатикой в курсе обучения по направлению бакалавриата «Информатика и вычислительная техника».
3. Необходима ли группа дисциплин по программированию в курсе обучения по направлению бакалавриата «Информатика и вычислительная техника».
4. Необходимы ли другие группы (3 и более дисциплин) связанных дисциплин.

Кроме этого, анкетирование имело вторичную цель в виде предварительной оценки состава упомянутых групп дисциплин для формирования наиболее качественных вопросов в анкетировании следующего этапа.

Проведение экспертизы

До начала процедуры проведения экспертизы были выявлены необходимые критерии выбора экспертов. Анализ критериев, установленных для экспертов, показал, что экспертами должны выступать: либо сотрудники образовательного учреждения, занимающиеся подготовкой специалистов по выбранному направлению, либо работники сферы профессиональной деятельности при наличии диплома о высшем образовании по выбранному направлению. Результаты анкетирования предоставили только 6 экспертов. Это количество можно считать достаточным, поскольку мнения были получены как от сотрудников образовательной сферы, так и от профессиональных специалистов, при этом мнения экспертов оказались идентичными по основным вопросам.

Процедура оценивания проводилась в заочной форме. Анкета-опросник была передана лично в руки в бумажном виде или отправлена на адрес электронной почты. В силу простоты сформулированных вопросов процедура была одношаговой. Повышение точности в ответах не требовалось. Все вопросы были сформулированы в простой альтернативной форме и требовали лишь оценочного мнения, поэтому опрос проводился методом непосредственного оценивания.

Результаты исследования

Обработка результатов анкетирования проводилась в ручном режиме, поскольку объем их был небольшим. По результатам опроса все эксперты, предоставившие ответы соответствовали установленным критериям. В таблице 1 представлены ответы на вопросы, сформулированные в основной части анкеты. Очевидно, что все эксперты единогласно подтвердили необходимость предложенных групп связанных дисциплин.

Таблица 1 - Результаты анкетирования по выбору групп дисциплин

Номер эксперта	**Соответствие эксперта критериям**	**Необходима ли группа математических дисциплин**	**Необходима ли группа дисциплин, связанных с информатикой**	**Необходима ли группа дисциплин по программированию**	**Необходимы ли другие группы связанных дисциплин**
1	Да	Да	Да	Да	Да
2	Да	Да	Да	Да	Да
3	Да	Да	Да	Да	Нет
4	Да	Да	Да	Да	Нет
5	Да	Да	Да	Да	Да
6	Да	Да	Да	Да	Нет

При этом часть экспертов предложили дополнительно выделить другие группы связных дисциплин. Результат обработки таких предложений представлен в таблице 2.

Таблица 2 - Дополнительные группы связанных дисциплин, предложенные экспертами

№ п/п	**Название группы**	**Эксперт, предложивший группу**
1	Проектирование АС	Эксперт 1
2	Моделирование систем	Эксперт 1
3	Научная/проектная деятельность	Эксперт 1
4	Базы данных	Эксперт 2
5	Технологии искусственного интеллекта	Эксперт 4

Анализ результатов, представленных в таблице 1 показывает, что все три выделенные группы дисциплин единогласно экспертами указаны как необходимые. Анализ таблицы 2 подтверждает, что дополнительные обязательные группы связанных дисциплин не являются необходимыми: 50% экспертов ответили, что других групп не нужно, остальные 50% указали различные варианты, причем ни одна группа не повторяется. Поскольку основная цель – выбор наиболее типичных групп, то изначально выбранный набор групп можно оставить без дополнения. Анализ таблицы 2 показывает также, что в проектируемой СППР необходима функция добавления пользовательских ограничений, которая позволит сформировать все необходимые ограничения.

При составлении анкеты, список дисциплин, входящих в указанные группы, был сформирован на основании анализа учебных планов различных учебных заведений для направления обучения бакалавриата «Информатика и вычислительная техника» [6]. Интегральные результаты экспертного оценивания представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты оценки предложенного состава предложенных групп дисциплин

Эксперт, подтвердивший указанное количество необходимых дисциплин из представленного списка	**Группа математических дисциплин (общее количество - 12)**	**Группа дисциплин по программированию (общее количество - 6)**	**Группа дисциплин, связанных с информатикой (общее количество - 7)**
Эксперт 1	12	5	7
Эксперт 2	12	5	6
Эксперт 3	12	6	7
Эксперт 4	12	6	6
Эксперт 5	12	6	7
Эксперт 6	12	5	7
Среднее значение	**12**	**6**	**7**

Проведение анкетирования показало, что все выбранные дисциплины по мнению экспертов являются необходимыми, поэтому они будут включены в соответствующие анкеты для определения порядка расстановки дисциплин. При анкетировании экспертам была предложена возможность дополнить составленные списки дисциплин. Часть экспертов предложили дополнительные дисциплины в списки. Полученные в результате опроса дисциплины будут включены в списки при проведении дальнейшей работы по установлению порядка следования дисциплин.

Заключение

Проведенная экспертиза установила, что учебный план для студентов бакалавриата направления «Информатика и вычислительная техника» должен содержать три группы связанных дисциплин, содержащих более трех элементов. Все эксперты указали на необходимость:

1. Группы математических дисциплин в курсе обучения по направлению бакалавриата «Информатика и вычислительная техника».
2. Группы дисциплин, связанных с информатикой в курсе обучения по направлению бакалавриата «Информатика и вычислительная техника».
3. Группы дисциплин по программированию в курсе обучения по направлению бакалавриата «Информатика и вычислительная техника».

Кроме этого, получены предварительные списки учебных дисциплин, входящих в каждую из указанных групп, на основании которых будет проведено дальнейшее экспертное оценивание.

При формировании учебного плана необходимо будет составлять систему ограничений для оптимального взаимного расположения дисциплин в каждой из этих групп. Основываясь на экспертном мнении данную часть работы, можно выполнять в автоматизированном режиме.

Литература

1. 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.
2. 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.
3. Лавлинская О. Ю. Ранжирование учебных дисциплин с использованием экспертных оценок. // Моделирование систем и информационные технологии: межвуз. сб. науч. тр. - Воронеж: Научная книга. 2006. Вып. 3. Ч. 2. С. 80-83.
4. Бабкина О.М., Е.А. Бабкин Об оптимизации учебных планов. // Информационные технологии в образовании: материалы II Международной научно-практической конференции «Информационные технологии образовании (ИТО-Черноземье – 2008)». Ч. 2. Изд-во КГУ – Курск/ - 2008.
5. 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.

6. 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.

ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМЫ ДОКУМЕНТАЛЬНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПОТОКА

Анцыферов С.С., Ханова М.К.
МИРЭА – Российский технологический университет
+7-958-816-70-56, khanova.mariam@yandex.ru

В статье дается определение «Документальный информационный поток». Документальный информационный поток рассматривается как совокупность взаимосвязанных информационных документов, содержащих определенную информацию, предназначенную для передачи во времени и пространстве. Содержатся тематические признаки, параметры и функции документальных информационных потоков. Представлена характеристика, структура и анализ параметров ДИП. Указано, что ДИП обеспечивает сохранность информации, ее удобный доступ и обработку, а также защиту от утери или утечки.

Ключевые слова: документальные информационные потоки, параметры ДИП, признаки ДИП, энтропия системы, статистические данные, информационный массив.

Indicators of the documentary information flow system (DIF). Antsyferov S.S., Khanova M.K., MIREA – Russian Technological University.

The article defines "Documentary information flow". Documentary information flow is seen as a set of interconnected information documents containing certain information intended for transmission in time and space. It contains thematic features, parameters and functions of documentary information streams. The characteristics, structure and analysis of DIF parameters are presented. It is pointed out that DIF provides safety of information, its convenient access and processing, as well as protection against loss or leakage.

Key words: documentary information flows, DIF parameters, DIF signs, entropy of the system, statistical data, information array.

Введение

Документальный информационный поток (ДИП) – это целостный поток взаимосвязанной между собой информации в виде документов, сообщений, отчетов и материалов, целенаправленно передающихся по информационным каналам от отправителя к потребителю.

Актуальность данного понятия в современном мире связана с тем, что в реалиях прогрессирующей цифровизации и глобализации обмен информацией становится неотъемлемым элементом не только для организации успешной деятельности предприятия, но и неотъемлемой частью жизнедеятельности каждого современного человека. Объем поступающей информации, с который нужно работать (отбирать, обрабатывать, использовать, оценивать, хранить, передавать) растет с каждым днем. В современном мире все процессы информационного обслуживания осуществляются на документальной основе. С одной стороны такое положение дел создает дополнительные трудности для организации деятельности работы, а с другой стороны помогает (экономия времени, удобство контроля, доступность и пр.).

Если рассматривать документальный информационный поток (ДИП) как систему, то она может быть определена как организованная динамическая совокупность взаимосвязанных информационных документов, содержащих закрепленную научную информацию, предназначенную для передачи во времени и пространстве. Исследование закономерностей ДИП может содействовать повышению эффективности и оптимизации процессов получения и передачи информации во времени и в пространстве.

ДИП – это множество взаимосвязанных научных документов, которые определяются областью предметов, объектов, процессов или методов исследования [1].

ДИП обладает рядом тематических признаков:

- первичный (основной) признак- семантика информации;
- вторичные признаки – классификационные индексы, термины, авторы, принадлежность к специализированным тематическим изданиям и др.

Основная функция ДИП – осуществление коммуникаций с целью распространения научно-технической информации в сфере науки, производства и управления.

Постановка проблемы

Параметры документальных информационных потоков – это характеристики, которые используются для анализа и оценки потоков документов, их объемов, путей передачи и принципов организации [2].

Основные параметры документальных информационных потоков:

1. Объем – количество документов, поступающих в организацию и проходящих через нее за определенный период времени.

2. Структура – характеристика документальных потоков, описывающая иерархическое разделение документов, их категоризацию по видам, типам и тематикам.

3. Интенсивность – скорость перемещения документов через организацию, степень нагруженности каналов.

4. Целостность – качество документов, обеспечивающее сохранение их неприкосновенности в процессе передачи и обработки.

5. Однородность – схожесть документов, поступающих в организацию, и единый порядок их обработки.

6. Автоматизация – степень использования информационных технологий для обработки документов.

7. Системность – связь между структурой и содержанием документальных потоков и организацией в целом.

Анализ параметров документальных информационных потоков позволяет оптимизировать систему работы с документами, увеличить их эффективность и сократить издержки [3].

Входящие параметры системы ДИП – интенсивность увеличения числа компонентов (элементов) в системе:

$S(t)=\frac{\Delta M}{\Delta t M_0}$

где: $\Delta M = M_j - M_{j-1}$, j=1,2,3,…,k

$м_j$-число компонентов в системе в момент времени t_j;

$\Delta t = t_j - t_{j-1}$

M_0 – опорное число компонентов в системе в момент начала наблюдения за процессом;

ΔM- приращение числа компонентов в системе за время Δt.

Выходные параметры системы ДИП - интенсивность использования компонентов системы:

$p(t)=\frac{\Delta R}{\Delta n \Delta t}$,

где: ΔR – приращение числа использований за время Δt;

Δn – приращение накопленного числа элементов за время $\Delta t = t_j - t_{j-1}$.

Важной характеристикой системы ДИП является ее структура, которая характеризуется степенью упорядоченности, организованности ее компонентов [5]. В системе ДИП соблюдается последовательность расположения элементов по отношению друг к другу в соответствии с параметрами или схемой упорядочения. Соблюдается последовательность и упорядоченность элементов «ранжированием». Степень упорядоченности элементов отражает процессы концентрации – рассеяния информации [4].

Для количественного выражения меры упорядоченности, организованности элементов ДИП будем использовать такой показатель как энтропия системы.

$H=-\sum_{i=1}^{N} \frac{d_i}{D_i} \ln \frac{d_i}{D_i}$,

где: N – число компонентов на исследуемом уровне разбиения системы;

d_i- число элементов, входящих в состав i-го компонента и обладающих признаками принадлежности к исследуемому тематическому направлению;

D_i – общее число элементов, обладающих признаками принадлежности к исследуемому тематическому направлению, на рассматриваемом уровне агрегирования компонентов.

Проведение аналитических исследований осуществляется в несколько этапов:

- сбор и обработка статистических данных;
- логический анализ результатов обработки.

Необходимые статистические данные:

M_i – число информационных документов, опубликованных в j-ом году;

M_0 – число страниц документа, опубликованных в момент t_0;

n – накопленное число информационных документов, опубликованных за период $\Delta t = t_j - t_0$.

R_J – число запросов в j-ом году на первичные документы;

d_i – число информативных документов, опубликованных в момент времени t_0, имеющих шифр i-ой тематики, Значения d_i определяется по тематическим рубрикам отраслевого рубрикатора;

D_i – число информационных документов, опубликованных в момент времени t_0, имеющих шифр i-ой тематической рубрики и вошедших в информационную базу автоматизированной информационно – поисковой системы;

N – число тематических рубрик отраслевого рубрикатора.

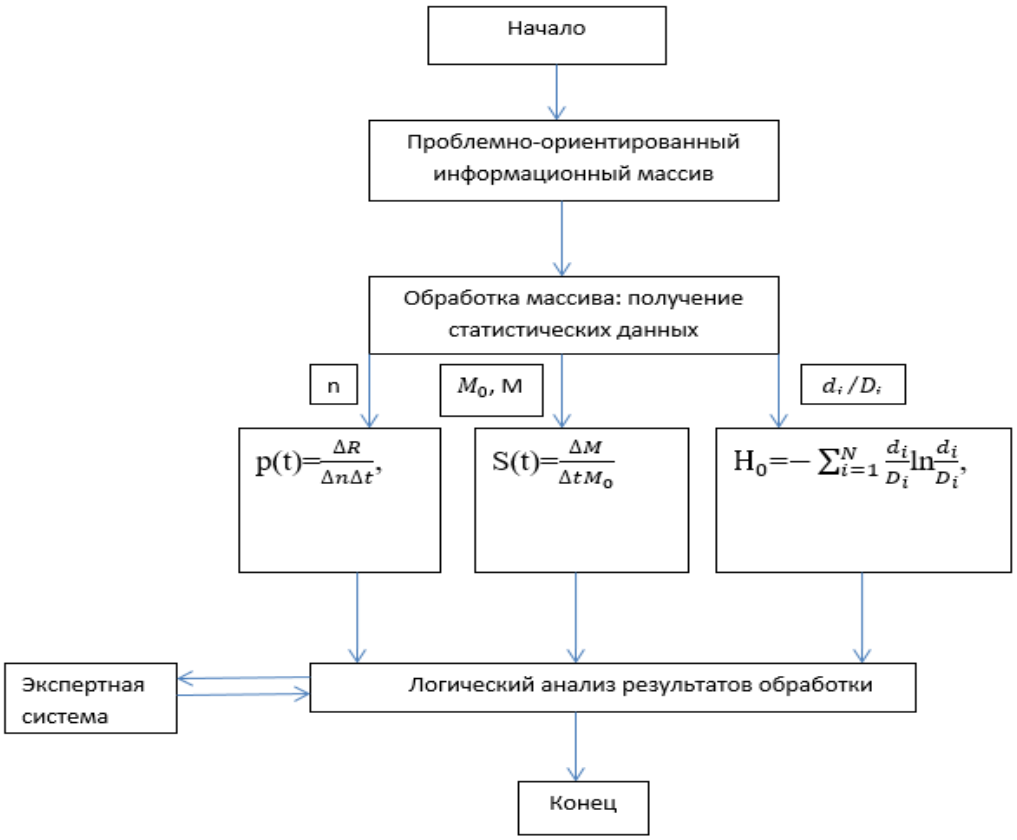


Рисунок 1 - Алгоритм обработки статистических данных

Заключение

Документальный информационный поток является основой для принятия управленческих решений, обеспечивает контроль за работой персонала и помогает руководству организации получать необходимые данные для решения важных вопросов. Кроме того, он обеспечивает сохранность информации, ее удобный доступ и обработку, а также защиту от утери или утечки.

Важность документального информационного потока заключается в том, что он позволяет ускорить и оптимизировать процессы в организации, обеспечивает максимальную эффективность работы, дает возможность быстро получать необходимые данные и принимать актуальные управленческие решения.

Литература

1. Анцыферов С.С., Фазилова К.Н., Ханова М.К. Стандартизация показателей свойств документальных информационных потоков // Перспективные материалы и технологии (ПМТ-2022). – М.: РТУ МИРЭА, 2022. С. 118-122.
2. Анцыферов С.С., Ханова М.К. Понятие о документальных информационных потоках организации // Инновационные технологии, в электронике и приборостроении. – М.: РТУ МИРЭА, 2021. С. 385-388.
3. Прокофьева Е.Н. Оценка качества управления информационными потоками в организациях // Вестник РМАТ, 2017. – 330 с.
4. Управление информационными потоками в издательском деле: учеб. пособие / Т.Ю. Депцова, Е.В. Ермакова. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 76 с
5. Ханова М.К. Качественные характеристики документальных информационных потоков // Фундаментальная и прикладная наука: Актуальные вопросы теории и практики. – Пенза, 2023.С. 57-59.

НОВЫЙ ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СИСТЕМАХ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА

Чекушкин А. А., Егунов В. А., Кравец А. Г.
Волгоградский государственный технический университет, Россия
check_a97@mail.ru, vegunov@mail.ru, allagkravets@yandex.ru

Работа посвящена вопросу оптимизации численных методов, используемых в подсистемах моделирования САПР и системах инженерного анализа. Такие системы активно используются на этапе проектирования техники. Для проведения сложных инженерных расчетов, вычислительные мощности персональных компьютеров организуются в сетевые комплексы. Каждый элемент такого комплекса представляет собой вычислительную систему общей памяти. Появление новых архитектурных решений для ПК и дефицит полупроводников делают актуальным вопрос повышения эффективности эксплуатации таких систем. В рассматриваемой статье предлагается способ построения аппаратурно-ориентированного алгоритма с применением кэш-оптимизации.

Ключевые слова: численные методы, инженерный анализ, многопроцессорные системы, блочные алгоритмы, оптимизация вычислений, системы общей памяти, векторизация, кэш-память.

Optimization techniques of numerical methods in computer aided engineering systems. A. A. Chekushkin, V. A. Egunov, A. G. Kravets, Volgograd State Technical University

The work is devoted to the issue of optimization of numerical methods used in CAD modeling subsystems and engineering analysis systems. Such systems are actively used at the engineering design stage. To carry out complex engineering calculations, the computing power of personal computers is organized into network complexes. Each element of such a complex is a shared memory computing system. The emergence of new architectural solutions for PCs and the shortage of semiconductors make the issue of increasing the efficiency of operation of such systems urgent. In this article, a method for constructing a hardware-oriented algorithm using cache optimization is proposed.

Keywords: numerical methods, engineering analysis, multiprocessor systems, block algorithms, optimization of calculations, shared memory systems, vectorization, cache memory.

I. Введение

В настоящее время, в соответствии с концепцией "Индустрия 4.0", все больше внимания уделяется технологиям, способствующим развитию автоматизированного производства, в котором управление осуществляется с помощью интеллектуальных систем в режиме реального времени. В таких условиях роль систем инженерного анализа многократно возрастает. Разрабатываемые модели современных проектируемых технических изделий становятся все более сложноорганизованными и ресурсоемкими, и проведение связанных с ними инженерных расчетов может занимать значительное время. Поэтому задача оптимизации численных методов решений дифференциальных уравнений в системах инженерного анализа является актуальной. Исследователями применяются различные подходы к ускорению программных реализаций, среди которых можно выделить: оптимизацию существующих решателей или разработку программ на базе новых алгоритмов. Но чаще всего оба этих подхода комбинируются.

II. Постановка задачи

В данной работе представлено исследование влияния кэш-памяти процессора на скорость сходимости решения инженерных задач с помощью известных численных методов, комбинированных с сингулярным разложением. Вопрос распараллеливания и векторизации таких методов ранее рассматривался на прошлой конференции [1].

Применение сингулярного разложения (singular value decomposition, SVD) может быть полезно в случаях, когда требуется нахождение значений параметров исследуемой модели высокой точности. В таких случаях расчеты могут занимать значительное время. Поэтому исследователи пытаются найти точные и быстродействующие решения. Например, в задаче проектирования базисных функций при генерации моделей пониженного порядка с применением итерационного метода Галеркина было получено сокращение времени моделирования минимум в 37 раз [2]. В другой работе авторами было предложено эффективное решение проблемы повышения точности дискретизации трехмерных моделей с подвижными границами [3].

В решениях на базе прямых методов SVD может быть применено к задачам моделирования электромагнитных потоков в полупространстве. Здесь сингулярное разложение используется в составе адаптивного алгоритма перекрестной аппроксимации для построения матрицы граничных элементов [4].

Перспективным направлением представляется использование технологий глубокого обучения (с применением нейронных сетей) в приложении к многомерным задачам акустических колебаний. Исследователи использовали глубокую нейронную сеть для повышения точности и надежности модели, основанной на методе Монте-Карло. Здесь SVD выступало посредником между оригинальной моделью, и нейросетью. Подход на основе моделей пониженного порядка позволил ускорить оценку обучающих наборов данных [5].

В кратком обзоре была показана перспективность использования комбинированных подходов для решения задач моделирования. Далее приводится математическое описание понятия сингулярного разложения. Для исходной матрицы **B** существуют такие сингулярные числа σ и вектора **u** и υ, что [6] (1):

$$\mathbf{B}\upsilon = \sigma\mathbf{u} \quad (1)$$

Эту же формулу можно выразить в матричном виде, приняв, что матрицы **U** и **V** левых и правых сингулярных векторов являются унитарными, а матрица Σ собственных чисел является диагональной. Тогда для прямоугольной матрица вещественных чисел **B** разложение выглядит как (2):

$$\mathbf{B} = \mathbf{U}\Sigma\mathbf{V}^{\mathbf{T}} \quad (2)$$

Цель работы заключается в исследовании вопроса ускорения программной реализации алгоритма нахождения сингулярных чисел и векторов вещественных матриц в контексте эффективного использования кэш-памяти. В целом проблема кэш-оптимизации является актуальной, поскольку она оказывает влияние как на скорость работы программ, так и на энергоэффективность вычислительных устройств в целом [7-10].

В качестве исследуемого алгоритма был использован метод Якоби, поскольку он может выполнять SVD с высокой точностью, а также хорошо распараллеливается [11, 12]. В качестве входных данных использовались плотные вещественные матрицы.

III. Предлагаемые решения

Для повышения эффективности использования кэш-памяти вычислительного устройства предлагается переход от векторных операций к матричным в рамках каждого параллельного потока. Таким образом, больше данных будет загружено в быструю память для сведения к минимуму временных затрат. Однако важно, чтобы данные в основной памяти располагались в соответствии с направлением их использования в программе. В качестве примера рассмотрим операцию умножения матриц, которая часто используется в большинстве блочных алгоритмов (Рисунок 1). Пусть заданы матрицы размера **mxn**. Тогда в случае поэлементного перемножения (Рисунок 1 - А), в кэш-память вычислительного устройства вместе с элементом (**i**,**j**) попадут все элементы строки **i** целиком. В случае блочного перемножения (Рисунок 1 - Б) в кэш-память попадут не только данные блока (**i'**, **j'**), но и данные столбцов в диапазоне от **j'** до **j'**+**k**, где k- размер блока.

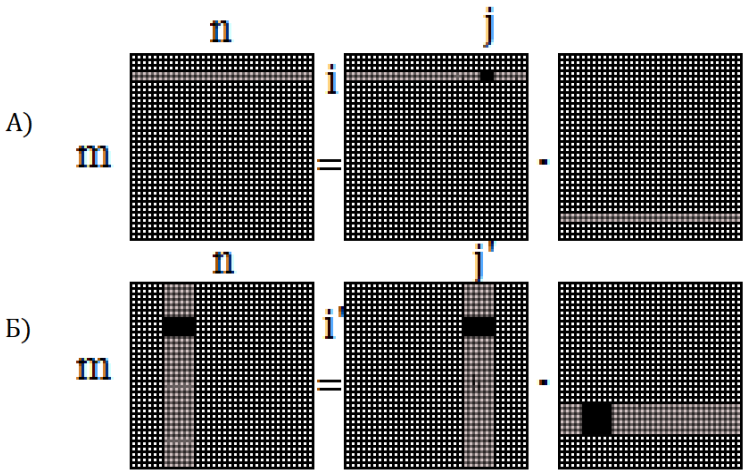


Рисунок 1 — Схема попадания данных в кэш-память при векторном (А) и блочном (Б) перемножении матриц

Для исследования было представлено две модификации блочного метода Якоби:

- представление матриц в памяти ВМ по строкам (bjac_rows);
- представление матриц в памяти ВМ по столбцам (bjac_cols);

Данные оценки ускорения времени решения столбцевой модификации по отношению к строчной показаны в таблице 1.

Таблица 1 - Ускорение полученной последовательной версии программы bjac_cols по отношению к bjac_rows процесса сингулярного разложения блочным методом Якоби

Размер блока	Ускорение
32	1,03
64	2,46
128	5,15
256	4,94

Программы были реализованы на языке программирования Си, в качестве базового типа использовался вещественный тип двойной точности (double). Тесты проводились на базе процессора Intel Xeon архитектуры Ice Lake. Объем кэш-памяти данных первого уровня составляет 512 Кб. Память такого объема может вместить 65536 элементов типа double, или 4 блока данных размером 128 элементов каждый. В тестах над квадратной матрицей фиксированного размера 2048 элементов наибольшее ускорение получил алгоритм, у которого в кэш-линию данных попадали все 4 блока данных (Рисунок 2).

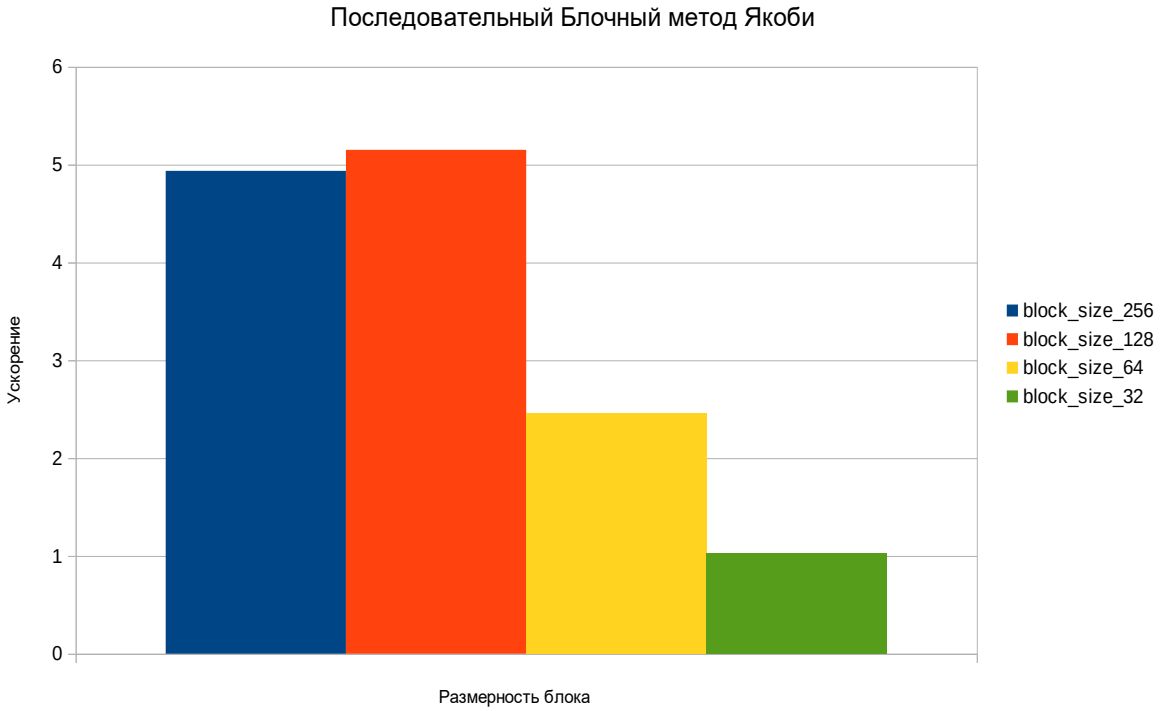


Рисунок 2 - Диаграмма зависимости ускорения вычисления от размера блоков матрицы

IV. Заключение

В настоящей работе было проведено исследование влияния кэш-памяти процессора общего назначения на скорость сходимости решения задачи сингулярного разложения. SVD находит свое применение в комбинации с численными методами для работы с конечно-элементными моделями. В результате экспериментов было получено ускорение более чем в 5 раз. Такое ускорение, вероятно, является максимальным для процессора Intel Xeon архитектуры Ice Lake, поскольку оно было получено при полном попадании в кэш решаемой в рамках каждой итерации подзадачи. Дальнейшая разработка предложенной методики оптимизации блочного метода Якоби возможна в системах класса SIMD и гетерогенных вычислительных системах.

Литература

1. Чекушкин, А. А. Оптимизация процесса вычисления сингулярного разложения на параллельных вычислительных системах с общей памятью / А. А. Чекушкин, В. А. Егунов, А. Г. Кравец // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : Сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции, Сочи, 01–10 октября 2022 года / Под редакцией 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, 2022. – С. 187-191.

2. Hung E. S., Senturia S. D. Generating efficient dynamical models for microelectromechanical systems from a few finite-element simulation runs //Journal of microelectromechanical systems. – 1999. – Т. 8. – №. 3. – С. 280-289.
3. Wang X. Y. et al. SVD–GFD scheme to simulate complex moving body problems in 3D space //Journal of Computational Physics. – 2010. – Т. 229. – №. 6. – С. 2314-2338.
4. Wan T., Li M. Z., Li L. F. Direct solution of finite element-boundary integral system for electromagnetic analysis in half-space //IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2020. – Т. 68. – №. 8. – С. 6461-6466.
5. Chen L. et al. A sample-efficient deep learning method for multivariate uncertainty qualification of acoustic–vibration interaction problems //Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 2022. – Т. 393. – С. 114784.
6. Вержбицкий В.М. Вычислительная линейная алгебра: Учеб. Пособие для вузов.-М.: Высш. шк., 2009.- 351 с.
7. Егунов В.А. О влиянии кэш-памяти на эффективность программной реализации базовых операций линейной алгебры // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. - 2018. - № 3. - С. 88-96.
8. Егунов В.А. Кэш-оптимизация процесса вычисления собственных значений на параллельных вычислительных системах // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. - 2019. - № 1 (45). - С. 154-163.
9. Егунов В.А., Андреев А.Е Векторизация алгоритмов выполнения собственного и сингулярного разложений матриц с использованием преобразования Хаусхолдера // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. - 2020. - № 2 (50). - С. 71-85.
10. Егунов, В.А. The Software Cache Optimization-Based Method for Decreasing Energy Consumption of Computational Clusters / А. Г. Кравец, В. А. Егунов // Energies. - 2022. - Vol. 15, issue 20 (October-2) [Special issue «Smart Energy and Sustainable Environment»]. – Article 7509. – 16 p. – DOI: https://doi.org/10.3390/en15207509.
11. Деммель Д. Вычислительная линейная алгебра. – М : Мир, 2001.
12. Zhou B. B., Brent R. P. On parallel implementation of the one-sided Jacobi algorithm for singular value decompositions //Parallel and Distributed Processing, 1995.Proceedings. EuromicroWorkshopon. – IEEE, 1995. – С. 401-408.

УНИФИЦИРОВАННАЯ АРХИТЕКТУРА ЗАЩИЩЕННОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Чесалин А.Н., Ставцев А.В., Ушкова Н.Н., Аксенова А.А.
РТУ МИРЭА
chesalin_an@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена проблеме информационной безопасности цифровых производств. Исследуются архитектуры телекоммуникационных сетей киберфизических систем, анализируются проблемы безопасности и предлагается унифицированная архитектура защищенной телекоммуникационной сети киберфизических систем.
Ключевые слова: киберфизические системы, телекоммуникационная сеть, информационная безопасность.

Unified architecture of a secure telecommunications network of cyber-physical systems. Chesalin A.N., Stavtsev A.V., Ushkova N.N., Aksenova A.A. RTU MIREA

Annotation. The work is devoted to the problem of information security of digital production. The architecture of telecommunications networks of cyber-physical systems is investigated, security problems are analyzed and a unified architecture of a secure telecommunications network of cyber-physical systems is captured.
Key words: cyber-physical systems, telecommunications network, information security.

Введение

Развитие цифровых производств выявило существенные проблемы информационной безопасности киберфизических систем [1, 2]. Одной из важных проблем безопасности киберфизических систем стали атаки «нулевого дня» (атаки, которые происходят до того, как разработчики программного обеспечения выпускают обновления безопасности для исправления уязвимостей. Действенных способов зашиты от них нет, требуется использование криптографической защиты передаваемых данных и оперативное обновление программного обеспечения, что в значительной степени затруднено для

промышленных систем, устройства которых зачастую задумывались для работы в «доверенной среде» и не предусматривают никаких элементов информационной безопасности и возможности встраивания криптографических алгоритмов. В работах [1-5] представлены некоторые аспекты построения цифровых производств и обеспечения их безопасности.

Унифицированная телекоммуникационная сеть киберфизической системы

На рисунке 1 представлен возможный вариант унифицированной телекоммуникационной сети киберфизической системы. Анализ киберфизических систем, показывает, что данная система представляет собой распределённую систему, которая как правило состоит из промышленных объектов (цехов) – SCADA-сети, центрального офиса с центром обработки данных, филиалов и удаленных сотрудников. Телекоммуникационная сеть киберфизических систем представляет собой объединение конечных устройств (датчики, промышленные исполнительные устройства, сервера, персональные компьютеры, телефоны, МФУ и пр.) посредством линий связи (кабельные и беспроводные) и сетевых устройств (коммутаторы, концентраторы, маршрутизаторы, репитеры и пр.).

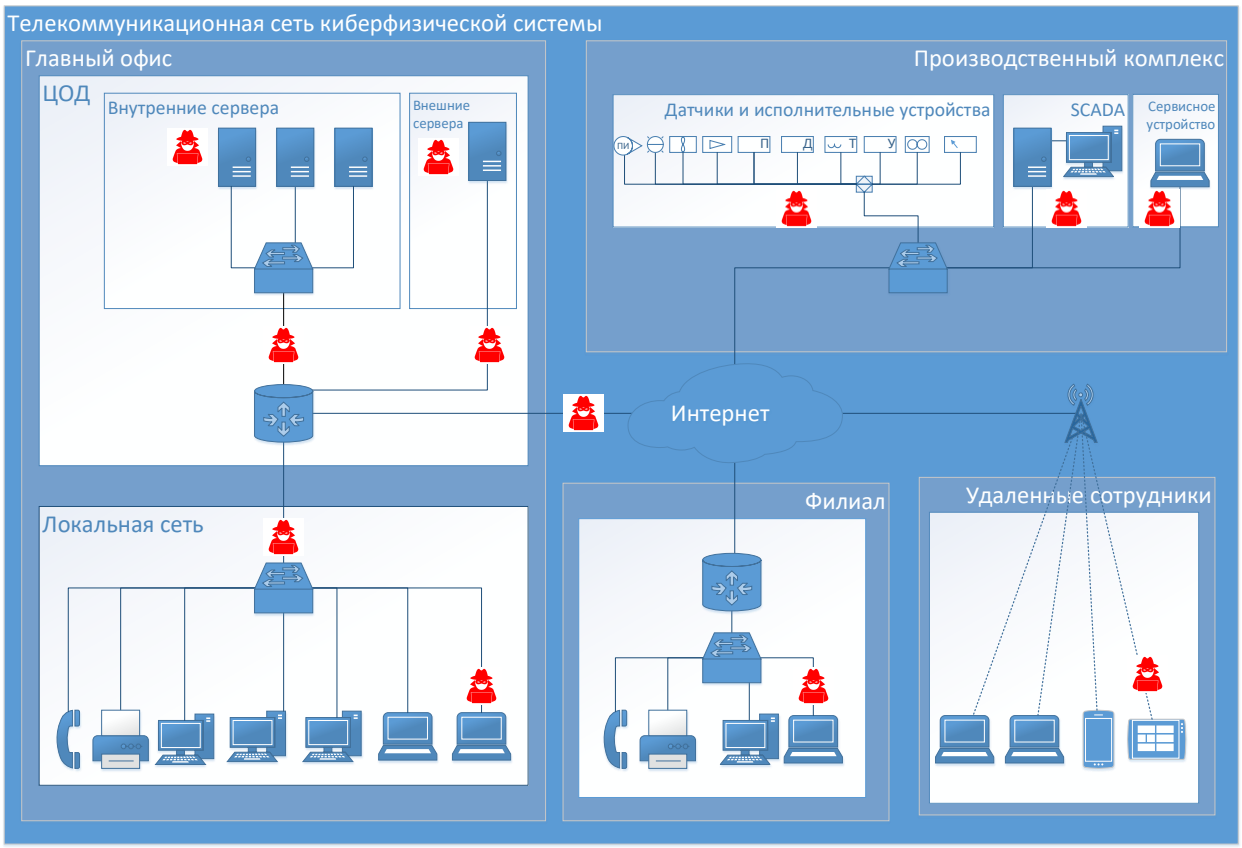


Рисунок 1 - Унифицированная телекоммуникационная сеть киберфизической системы

Как правило, телекоммуникационной сетью киберфизической системы реализуются: компьютерная сеть, системы управления предприятием (ERP), продуктом (PLM), производством (MES, SCADA), виртуализованные распределенные вычисления, файловые хранилища, веб-сервисы, телефонная связь, ip-телефония, видеоконференцсвязь и пр. Представленная телекоммуникационная сеть подвержена всевозможным атакам на любой элемент телекоммуникационной сети. Возможные нарушители также показаны на рисунке 1.

Построение защищенной телекоммуникационной сети киберфизической системы

Построение защищенной телекоммуникационной сети, как правило, начинается с формирования модели угроз и модели нарушителя, затем подбираются возможные архитектуры, подходы, системы и устройства информационной безопасности для минимизации рисков компрометации системы. Затраты на обеспечение информационной безопасности не должны превышать потери от компрометации системы (атак, утечки данных, заражения вирусами и пр.), система должна быть надежной и экономически эффективной.

Далее (рис. 2) предлагается возможный вариант унифицированной архитектуры защищенной телекоммуникационной сети киберфизической системы. Представленная архитектура основана на анализе архитектур: Cisco smart business architecture, Cisco Safe и Huawei ONE NET.

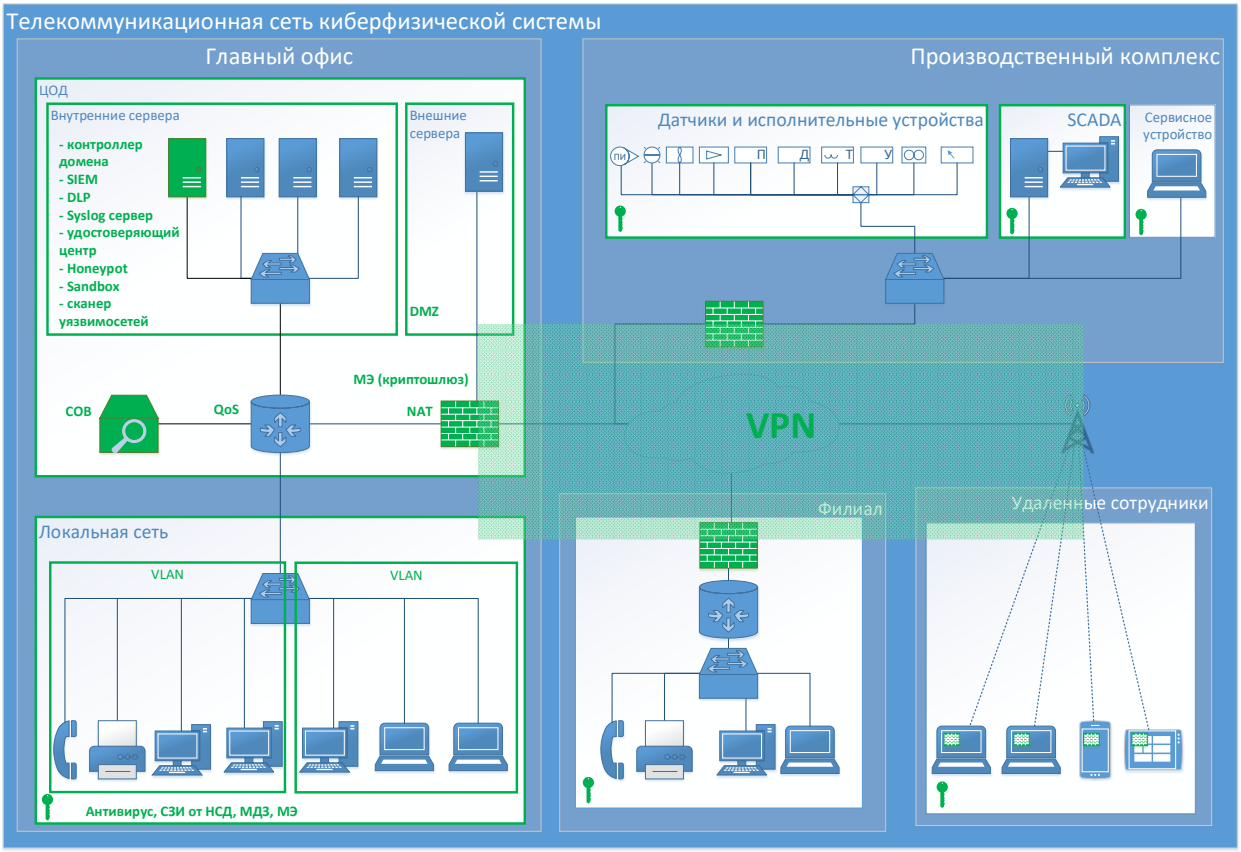


Рисунок 2 - Унифицированная архитектура защищенной телекоммуникационной сети киберфизической системы

Для обеспечения информационной безопасности в телекоммуникационной сети применяются следующие элементы информационной безопасности:

- доменная структура и централизованное управление (контроллер домена);
- централизованный сбор данных и анализ событий информационной безопасности (SIEM система);
- системы предотвращения утечек информации (DLP система);
- системы обнаружения вторжений (IPS);
- разделение внутренних и внешних сетей (демилитаризованная зона(DMZ));
- шифрование каналов связи, виртуальные частные сети (VPN) (используются межсетевые экраны и криптошлюзы);
- инфраструктура открытых ключей;
- средства защиты конечные точек (антивирусная защита, межсетевой экран, Средства защиты от несанкционированного доступа, модули доверенной загрузки);
- приманки для злоумышленников (Honeypot);
- изолированная среда (Sandbox);
- прокси сервера (Proxy);
- средства сканирования сети (сканеры уязвимостей);
- системы контроля доступа (СКУД) и контроль помещений;
- средства защиты информации по каналам ПЭМИН;
- резервирование и агрегирование каналов связи;

и пр.

Стандартом защиты телекоммуникационной сети является комплексный многоуровневый подход, позволяющий минимизировать риски информационной безопасности. Грамотный выбор представленных средств защиты позволяет обеспечить требуемый уровень информационной безопасности.

Представленная архитектура является обобщенной, и предназначена, главным образом, для обучения специалистов по информационной безопасности телекоммуникационных систем.

Заключение

В работе проведено исследование проблемы построения защищенной телекоммуникационной сети киберфизической системы. Предложена унифицированная архитектура защищенной телекоммуникационной сети киберфизической системы. Результаты работы могут быть использованы, как основа для построения защищённых киберфизических систем.

Литература

1. A. Cardenas, Cyber-Physical Systems Security Knowledge Area (CyBOK). University of California Santa Cruz, USA, 2021.
2. Ушкова Н.Н., Чесалин А.Н., Ставцев А.В., Болотин К.В., Андрюшенков Д.Г. Современные проблемы информационной безопасности киберфизических систем // Национальная научно-практическая конференция «Цифровизация техносферы: научный подход», 2023.
3. Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Синягов С.А. Кибер-физические системы как основа цифровой экономики // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 4, no. 2, 2016
4. Чесалин А.Н., Гродзенский С.Я., Нилов М.Ю, Фам Ван Ты Интеллектуальные инструменты управления качеством цифрового производства // Стандарты и качество, 2020, №3, с. 68-72
5. Рылов С.А., В.А. Холопов В.А. Система контроля безопасности сотрудников на предприятии с помощью технологий промышленного интернета вещей // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах, 2023.
6. C. Alcaraz and S. Zeadally, Critical control system protection in the 21st century// Computer, vol. 46, no. 10, pp. 74–83, 2013.

ФОРМАЛИЗОВАННЫЙ ПОДХОД К ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Шамров М.И.
Российский университет транспорта

Статья посвящена формальным методам синтеза ветвящихся программ для реализации алгоритмов логического управления, описываемых системами булевых функций. Рассматривается способ построения ветвящихся программ общего вида с различными наборами признаков ветвления. Приводится алгоритм построения таких программ.

Ключевые слова: логическое управление, системы булевых функций, ветвящиеся программы.

Formalized approach to software implementation of logical control algorithms. Shamrov M.I. Russian University of Transport.

The article is devoted to formal methods for the synthesis of branching programs for the implementation of logical control algorithms described by systems of Boolean functions. A method for constructing general branching programs with different sets of branching features is considered. Algorithm for constructing such programs is given.

Keywords: logic control, systems of Boolean functions, branching programs

Массовое применение интегральных микроконтроллеров в составе встроенных систем управления различными объектами актуализирует задачи разработки методов программной реализации управляющих алгоритмов. Одной из таких задач является формализация синтеза программ логического управления, представленного системами булевых функций (СБФ). Такие системы составляют основу конечно-автоматных алгоритмов, используемых в логическом управлении. Известны различные модели программ вычисления булевых функций, которые могут быть представлены двумя основными классами операторных и бинарных программ [1].

Операторные программы основаны на представлении СБФ в виде сети из логических элементов. Каждый такой элемент может быть реализован блоком команд логических операций, входящих в состав систем команд микроконтроллеров. Программа состоит из последовательно исполняемых блоков в соответствии с порядком подключения реализуемых ими логических элементов сети. Синтез операторных программ основан на традиционных методах разработки логических схем. Основным недостатком такого подхода является последовательное исполнение блоков команд, реализующих элементы логической сети, что приводит к постоянному времени исполнения программы независимо от наборов значений входных переменных и ограничивает возможности оптимизации программы по быстродействию. Кроме этого,

операторные программы требуют использования оперативной памяти для временного хранения промежуточных результатов.

Бинарные или ветвящиеся программы основаны на использовании команд условных переходов, проверяющих значения отдельных булевых переменных. В [1] приводится модель обобщенной бинарной программы (ОБ-программы) для вычисления СБФ. В данной работе рассматривается вариант обобщенных бинарных программ с использованием произвольных признаков в командах условных переходов. Назовём такие программы В-программами.

Будем представлять реализуемое логическое преобразование в виде СБФ:

$$\begin{cases} y_1 = f_1(x_1, \dots, x_n), \\ y_2 = f_2(x_1, \dots, x_n), \\ \quad \dots \\ y_m = f_m(x_1, \dots, x_n), \end{cases} \qquad (1)$$

где: $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ - множество входных переменных, $Y = \{y_1, \dots, y_m\}$ - множество выходных переменных.

Разобьём множество входных и выходных переменных СБФ на подмножества, образующие входные и выходные операнды программы:

$X = \{X_k \,|k = \overline{1,r}\}, X_k = \{x_{k1}, \dots, x_{kn_k}\},\ \cup_{k=1}^{r} X_k = X$

$Y = \{Y_j \,|j = \overline{1,s}\},\ Y_j = \{y_{j1}, \dots, y_{jm_j}\},\ \cup_{j=1}^{s} Y_j = Y$

Будем полагать, что каждая из выходных переменных входит только в один выходной операнд $Y_j \cap Y_\delta = \emptyset | j \neq \delta$, а входные переменные в общем случае могут войти в несколько входных операндов. Для упрощения далее будем считать $X_k \cap X_\delta = \emptyset | k \neq \delta$. Мощность подмножеств $|X_k|, |Y_j|$ ограничим разрядностью обработки в микроконтроллере: $n_k \leq \rho,\ m_j \leq \rho$, где ρ – разрядность обработки.

Под В-программой, реализующей преобразование (1), будем понимать программу, состоящую из команд присвоения значений выходным операндам $\vec{Y}_j = 6_{j1} \dots 6_{jm_j} | j = \overline{1,s}, 6 \in \{0,1\}$ и команд условных переходов по признакам $\Psi_l(X_k) |\ k \in \{1, \dots, r\}, l \in \{1, \dots, \varphi\}, \varphi \geq r$. Каждая команда условного перехода формирует два адреса перехода в зависимости от значения используемого в ней признака $\Psi_l(X_k)$.

В-программе поставим в соответствие ориентированный ациклический В-граф, в котором используются два типа вершин. Условной команде соответствует вершина (назовем ее условной) с двумя исходящими ребрами, помеченным одним из значений используемого в ней признака $\Psi_l(X_k)$. Одна из таких вершин не имеет входящих ребер и называется начальной. Командам присвоения соответствуют два типа вершин (будем называть их операторными): конечные вершины, не имеющие исходящих ребер, и промежуточные с одним исходящим ребром. Все вершины В-графа кроме начальной могут иметь произвольное число входящих ребер.

По В-графу может быть построена программа вычисления СБФ. Каждой операторной вершине соответствует команда загрузки константы в порт вывода или ячейку памяти микроконтроллера. Каждая условная вершина может быть реализована командой условного перехода. В качестве признаков перехода в таких командах в микроконтроллере используется фиксированный стандартный набор булевых признаков, формируемый по результатам операций в предшествующих командах: равенство 0, четность, знак, переполнение и другие. Для формирования произвольных признаков $\Psi_l(X_k)$ могут потребоваться дополнительные команды вычисления этого признака и его преобразования в один из стандартных признаков. Простейшим признаком, требующим минимального количества дополнительных команд, является значение одной булевой переменной *x*, используемое в бинарных программах.

Функционирование В-программы заключается в повторении следующих этапов:

– Фиксация значений входных перемеренных *X* и формирование значений входных операндов $\vec{X}_k = 6_{k1} \dots 6_{kn_k} | k = \overline{1,r}$. Этот этап может быть реализован во входных модулях либо в памяти микроконтроллера.

– Вычисление значений выходных операндов $\{\vec{Y}_j | \mathrm{j} = \overline{1,\mathrm{s}}\}$ с использованием зафиксированных значений входных операндов $\{\vec{X}_k | k = \overline{1,r}\}$ с их записью в память или в выходные модули микроконтроллера.

Каждому вычислению В-программы соответствует проход по пути в В-графе из начальной вершины в одну из конечных. Такой путь должен включать *s* операторных вершин $\vec{Y}_j = 6_{j1} \dots 6_{jm_j} | j = \overline{1,s}$ присвоения значений всем выходным операндам. Условием прохождения p-го пути от начальной условной вершины с признаком Ψ_{p1} через последовательность условных вершин, включающую

последнюю условную вершину на этом пути с признаком $\Psi_{p\alpha_p}$, является функция $\Psi_{p1}^{6_{p1}}(X_{p1})\& \ \dots \& \ \Psi_{p\alpha_p}^{6_{p\alpha_p}}(X_{p\alpha_p})$, где $6 \in \{0,1\}, \Psi^1 = \Psi, \Psi^0 = \overline{\Psi}$, α_p - число условных вершин на p-ом пути.

Поскольку реализуемая В-графом СБФ должна отвечать условиям полноты и непротиворечивости определения, на любом пути из начальной вершины графа в одну из конечных должны быть определены все переменные $y_j \in Y$, причем каждая переменная может принимать только одно значение 0 или 1. Вследствие этого, выбрав все операторные вершины, в которых y_j принимает значение 1, и определив все пути, ведущие в эти вершины из начальной вершины, и условия их прохождения получим:

$$y_j = \overset{p=\lambda}{\underset{p=1}{\vee}} (\Psi_{p1}^{6_{p1}}(X_{p1})\& \ \dots \& \ \Psi_{p\alpha_p}^{6_{p\alpha_p}}(X_{p\alpha_p})), \quad (2)$$

где λ -число выбранных путей и каждая конъюнкция соответствует одному из таких путей, а дизъюнкция берется по всем таким путям.

Таким образом В-граф задает систему булевых функций (1), в которой каждой из функций y_j соответствует функция (2).

Для построения В-графа, реализующего заданную СБФ (1) будем использовать следующую последовательность этапов.

1. Преобразуем СБФ (1) следующим образом. Для каждого из подмножеств $Y_j = \{y_{j1}, \dots, y_{jm_j}\}$ определим все возможные элементарные конъюнкции функций $\{f_{j1}, \dots, f_{jm_j}\}$ из (1) ранга $m_j = |Y_j|$:

$$\begin{cases} F_{j0} = \overline{f}_{j1}\& \dots \&\overline{f}_{j(m_j-1)}\&\overline{f}_{jm_j} \\ F_{j1} = \overline{f}_{j1}\& \dots \&\overline{f}_{j(m_j-1)}\&f_{jm_j} \\ \dots \\ F_{j(2^{m_j}-1)} = f_{j1}\& \dots \&f_{j(m_j-1)}\&f_{jm_j} \end{cases} \quad (3)$$

Если $F_{ji} = 0$, выходной операнд $\vec{Y}_j$ не принимает значение i и из (3) исключаем такие функции. Единичное значение функции $F_{ji} = 1$ является условием выдачи выходного операнда $\vec{Y}_j = i$, что соответствует включению в В-граф операторной вершины.

Проделав аналогичные действия для всех $Y_j \ | j = \overline{1,s}$ получаем следующую СБФ:

$$\{F_{ji} | j = \overline{1,s}, i \in \{0, 1, \dots 2^{m_j} - 1\}\} \quad (4)$$

2. Построение начнем с подграфа, в котором используются условные вершины с признаками $\Psi_1^g(X_1)$, определенными на множестве переменных входного операнда X_1. В качестве начальной будем использовать условную вершину В-графа, помеченную признаком $\Psi_1^1(X_1)$. Отметим, что выбор порядка рассмотрения операндов, как и распределения переменных по операндам, может быть произвольным и использоваться для оптимизации В-программ.

В соответствии с известной теоремой разложения булевых функций [2] осуществим разложение каждой из функций (4) по переменным, входящим в операнд $X_1 = \{x_1, \dots, x_{n_1}\}$.

$$F_{ji} = \overline{x}_1\overline{x}_2 \dots \overline{x}_{n_1}F_{ji}(0, \dots, 0, x_{n_1+1}, \dots, x_n) \vee \dots \vee x_1x_2 \dots x_{n_1}F_{ji}(1, \dots, 1, x_{n_1+1}, \dots, x_n) \quad (5)$$

Все конъюнкции $x_1^{6_1}x_2^{6_2} \dots x_{n_1}^{6_{n_1}}F_{ji}(6_1, 6_2 \dots, 6_{n_1}, x_{n_1+1}, \dots x_n)$ из (5) разделим на два подмножества, причем в первое подмножество включим конъюнкции, для которых $\Psi_1^1 = 0$, а во второе - конъюнкции, для которых $\Psi_1^1 = 1$. Каждую из функций F_{ji} представим в виде дизъюнкции двух функций:

$$F_{ji} = F_{ji}^1(\Psi_1^1 = 0) \vee F_{ji}^2(\Psi_1^1 = 1), \quad (6)$$

где $F_{ji}^1(\Psi_1^1 = 0)$ – дизъюнкция конъюнкций первого подмножества,

$F_{ji}^2(\Psi_1^1 = 1)$ – дизъюнкция конъюнкций второго подмножества.

В результате получим две СБФ: $\{F_{ji}^1(\Psi_1^1 = 0), \left| j = \overline{1,s}, i \in \{0, 1, \dots 2^{m_j} - 1\}\right.\}$, соответствующую исходящему ребру начальной вершины с $\Psi_1^1 = 0$, и $\{F_{ji}^2(\Psi_1^1 = 1), \left| j = \overline{1,s}, i \in \{0, 1, \dots 2^{m_j} - 1\}\right.\}$, соответствующую исходящему ребру начальной вершины с $\Psi_1^1 = 1$. Функции тождественные const 0 исключаем из дальнейшего рассмотрения. Если в полученных СБФ функция $F_{ji}^1(\Psi_1^1 = 0) = 1$, к исходящему ребру начальной вершины с $\Psi_1^1 = 0$ подсоединяем операторную вершины $\vec{Y}_j = i$. При наличии нескольких таких функций подключаем соответствующие операторные вершины последовательно в любом порядке. Если все функции $F_{ji}^1(\Psi_1^1 = 0)$ тождественны const 1, последнюю из подключенных операторных вершин будем считать конечной в В-графе. Аналогично для функций $F_{ji}^2(\Psi_1^1 = 1)$, тождественных const 1, подсоединяем операторные вершины к ребру с $\Psi_1^1 = 1$. Таким образом, далее

будем рассматривать две СБФ $\{F_{ji}^1(\Psi_1^1=0)\}$ и $\{F_{ji}^2(\Psi_1^1=1)\}$, из которых исключены функции, тождественные const 0 и const 1.

Множество конъюнкций из (5), на которых определена СБФ $\{F_{ji}^1(\Psi_1^1=0)\}$ разделим на два подмножества в соответствии с функцией $\Psi_1^2(X_1)$, отличной от $\Psi_1^1(X_1)$. К пути в В-графе, соответствующему $\Psi_1^1=0$, подключим условную вершину с признаком $\Psi_1^2(X_1)$, исходящие ребра которой соответствуют двум новым СБФ с учетом исключения функций, тождественных const 0. Аналогичные действия выполним для СБФ $\{F_{ji}^2(\Psi_1^1=1)\}$ с подключением к пути в В-графе, соответствующему $\Psi_1^1=1$, условной вершины с признаком $\Psi_1^3(X_1)$. Для каждой из полученных СБФ выбираем новый признак $\Psi_1^g(X_1)$ и повторяем действия по разделению на две СБФ. Построение подграфа, в котором используются условные вершины с признаками $\Psi_1^g(X_1)$, определенными на множестве переменных входного операнда X_1, будем продолжать до тех пор, пока при очередном разделении в каждой из полученных СБФ все функции содержат не более одной конъюнкции переменных операнда X_1 из (5). При этом не более, чем через n_1 шагов полученные функции F_{ji}^{β} не будут включать переменные из X_1, а число исходящих ребер подграфа и соответствующих им СБФ не превышает 2^{n_1}.

3. Для каждого исходящего ребра подграфа и соответствующей ему СБФ, полученных на предыдущем этапе, повторим все действия этого этапа для построения подграфов с условными вершинами с признаками $\Psi_k^g(X_k)$, определенными на множестве переменных входного операнда $X_k \subset X$, отличного от входных операндов, использованных на предшествующем пути. Выбор операнда X_k определяется зависимостью функций СБФ от переменных, входящих в этот операнд. Будем повторять перечисленные действия для всех остальных входных операндов до тех пор, пока все вершины, полученные на очередном шаге, будут конечными операторными вершинами.

Построенный В-граф не содержит циклов и любой путь в В-графе из вершины $\Psi_1^1(X_1)$ включает не более s операторных вершин присвоения значений всем выходным операндам $\{Y_j \,|j=\overline{1,s}\}$. Действительно, если на каком-то шаге одна из функций F_{ji} принимает значение 1, то все остальные функции $F_{jl}|l\neq i$ равны нулю (следует из (3)). Вследствие чего на каждом пути в графе операнд $\vec{Y}_j$ принимает только одно из возможных значений. Кроме того, поскольку область определения (4) полная, на любом пути в В-графе, соответствующем одному из наборов значений переменных X, операнд $\vec{Y}_j$ принимает одно из 2^{m_j} значений. Таким образом, полученный В-граф соответствует программе, реализующей систему булевых функций (1), каждая из которых представляется в виде (2).

При выборе функций, используемых в условных вершинах целесообразно использовать аппаратно формируемые в микроконтроллерах признаки выполнения команд. Для получения значения дизъюнкции от ρ переменных достаточно использовать признак равенства 0 ρ-разрядного операнда с этими переменными. Вычисление конъюнкции ρ переменных может быть выполнено путем сложения операнда с const 1 и проверкой результата на равенство 0. Произвольная элементарная конъюнкция $x_1^{6_1}\&\, x_2^{6_2}\&\ldots\&\, x_\rho^{6_\rho}$ вычисляется сложением по mod2 операнда и константы $6_1 6_2 \ldots 6_\rho$ с проверкой результата на 0. Дизъюнкция нескольких таких элементарных конъюнкций может быть реализована последовательностью операций сложения по mod2 операндов с проверкой результатов на 0. Бит контроля по четности операнда позволяет реализовать функцию сложения переменных по mod2.

Рассмотрим пример построения В-графа, реализующего следующую СБФ:

$$y_1 = \overline{x}_1 x_2 x_3 \vee \overline{x}_1 x_2 x_4 \vee x_1 \overline{x}_2 \overline{x}_3 \vee x_1 \overline{x}_2 \overline{x}_4$$

$$y_2 = \overline{x}_1 \overline{x}_2 x_3 \vee \overline{x}_1 x_2 \overline{x}_3 \overline{x}_4$$

Входные переменные разобьём на два входных операнда *X1*={x_1, x_2} *и X2*={x_3, x_4}. Полагая, что выходные переменные объединены в один операнд Y_1 (s=1), после исполнения этапа 1 получим следующую СБФ ($F_{13}=0$ исключаем из рассмотрения):

$F_{10} = x_1 x_2 \vee x_1 x_3 x_4 \vee \overline{x}_1 \overline{x}_2 \overline{x}_3$

$F_{11} = \overline{x}_1 \overline{x}_2 x_3 \vee \overline{x}_1 x_2 \overline{x}_3 \overline{x}_4$

$F_{12} = \overline{x}_1 x_2 x_3 \vee \overline{x}_1 x_2 x_4 \vee x_1 \overline{x}_2 \overline{x}_3 \vee x_1 \overline{x}_2 \overline{x}_4$

Таблица 1 – Этапы построения В-графа

Входной операнд	Признаки условных вершин	Путь в В-графе	Формируемые СБФ	Операторные вершины
	$\Psi_1^1 = x_1 \oplus x_2$	$\Psi_1^1 = 0$	$F_{10}^1 = \overline{x}_1 \overline{x}_2 (\overline{x}_3) \ \vee\ x_1 x_2 (1)$	

			$F_{11}^1 = \overline{x}_1\overline{x}_2(x_3)$	
		$\Psi_1^1 = 1$	$F_{10}^2 = x_1\overline{x}_2(x_3x_4)$ $F_{11}^2 = \overline{x}_1x_2(\overline{x}_3\overline{x}_4)$ $F_{12}^2 = \overline{x}_1x_2(x_3 \vee x_4) \vee x_1\overline{x}_2(\overline{x}_3 \vee \overline{x}_4)$	
X_1	$\Psi_1^2 = x_1x_2$	$\Psi_1^1 = 0 \to \Psi_1^2 = 0$	$F_{10}^3 = \overline{x}_3$ $F_{11}^3 = x_3$	
		$\Psi_1^1 = 0 \to \Psi_1^2 = 1$	$F_{10}^4 = 1$	$\vec{Y}_1 = 00$
	$\Psi_1^3 = x_1\overline{x}_2$	$\Psi_1^1 = 1 \to \Psi_1^3 = 0$	$F_{11}^5 = \overline{x}_3\overline{x}_4$ $F_{12}^5 = x_3 \vee x_4$	
		$\Psi_1^1 = 1 \to \Psi_1^3 = 1$	$F_{10}^6 = x_3x_4$ $F_{12}^6 = \overline{x}_3 \vee \overline{x}_4$	
	$\Psi_2^1 = x_3$	$\Psi_1^1 = 0 \to \Psi_1^2 = 0 \to \Psi_2^1 = 0$	$F_{10}^7 = 1$	$\vec{Y}_1 = 00$
		$\Psi_1^1 = 0 \to \Psi_1^2 = 0 \to \Psi_2^1 = 1$	$F_{11}^8 = 1$	$\vec{Y}_1 = 01$
X_2	$\Psi_2^2 = \overline{x}_3\overline{x}_4$	$\Psi_1^1 = 1 \to \Psi_1^3 = 0 \to \Psi_2^2 = 0$	$F_{12}^9 = 1$	$\vec{Y}_1 = 10$
		$\Psi_1^1 = 1 \to \Psi_1^3 = 0 \to \Psi_2^2 = 1$	$F_{11}^{10} = 1$	$\vec{Y}_1 = 01$
	$\Psi_2^3 = x_3x_4$	$\Psi_1^1 = 1 \to \Psi_1^3 = 1 \to \Psi_2^3 = 0$	$F_{12}^{11} = 1$	$\vec{Y}_1 = 10$
		$\Psi_1^1 = 1 \to \Psi_1^3 = 1 \to \Psi_2^3 = 1$	$F_{10}^{12} = 1$	$\vec{Y}_1 = 00$

Результаты реализации остальных этапов построения В-графа приведены в таблице 1, где перечислены используемые в условных вершинах признаки, пути в В-графе с выбранными условными вершинами и СБФ, получаемые на каждом этапе разделения исходных функций F_{ji}. На рис.1 приведен В-граф, соответствующий исходной СБФ примера.

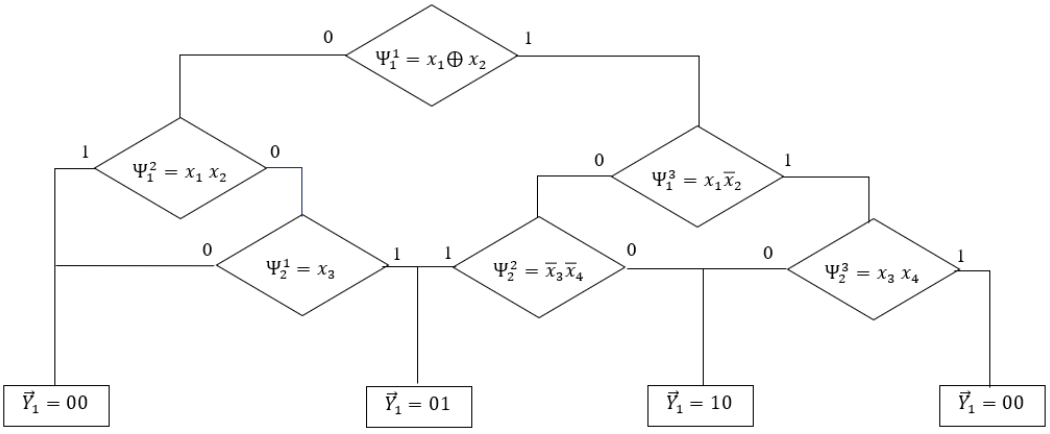


Рисунок 1 – Пример В-графа

Литература

1. Кузнецов О. П. О программной реализации логических функций и автоматов. I. Анализ и синтез бинарных программ, Автоматика и телемеханика, 1977, выпуск 7, 163–174.

2. Кобринский Н. Е., Трахтенброт Б. А. Введение в теорию конечных автоматов. М.:: Физматгиз, 1962.

ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СРОКА СЛУЖБЫ ОПТОВОЛОКОННОЙ ЛИНИИ

Шувалов В.П., Лизнева Ю.С., Квиткова И.Г.
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)

Статья посвящена исследованию возможности использования принципа Циглера для прогнозирования срока службы оптического волокна. Предложена методика применения энтропийного похода к оценке срока службы оптоволоконной линии. Исследована зависимость энтропии участка оптического волокна от времени при постоянном напряжении эксплуатации волокна и влиянии напряжения на срок эксплуатации. Показано, что энтропийный подход позволяет оценить работоспособность оптического кабеля в зависимости от срока эксплуатации.

Ключевые слова: оптоволоконная линия, гамма-процентный срок службы, энтропия, вероятность безотказной работы, оптический кабель.

The entropy approach to estimating the service life of a fiber-optic line. Shuvalov V.P., Lizneva Yu.S., Kvitkova I.G. SibSUTIS.

The article is devoted to the research of the possibility of using the Ziegler principle to predict the service life of an optical fiber. At the same time, a technique for applying an entropy approach to estimating the service life of a fiber-optic line is proposed. The dependence of the entropy of an optical fiber section on time at constant fiber operating stress and the effect of stress on the service life is investigated. It is shown that the entropy approach makes it possible to evaluate the operability of an optical cable depending on the service life.

Keywords: fiber-optic line, gamma-percent service life, entropy, probability of failure-free operation, optical cable.

Введение

Энтропия является мерой неопределенности (хаоса) и одновременно мерой упорядоченности объекта (системы). Неопределенность и упорядоченность суть взаимодополняющие друг друга понятия. Впервые понятие энтропии применительно к законам термодинамики было введено Р. Клаузиусом в 1864 г. В настоящее время энтропия используется при моделировании различных сложных объектов (систем) в экономике, технике, биологии, механике [1-10] и др.

Для определения информационной энтропии H в 1948 г. К. Шенноном [11] была предложна формула

$$H = -\sum_{i=1}^{n} P_i \cdot \log_a P_i \,, \qquad (1)$$

где P_i – вероятность нахождения системы в i-м состоянии, причем $\sum_{i=1}^{n} P_i = 1$;

n – число возможных состояний системы;

a – основание логарифма (при $a = 2$ энтропия измеряется в битах).

Именно на это понятие в дальнейшем рассмотрении и будем ориентироваться при решении вопросов о сроке службы объекта и, в частности, оптоволоконной линии.

Отметим, что срок службы зависит от долговечности объекта: свойства объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта [12]. В соответствии с [12] предельным состоянием объекта является состояние, в котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. В [12] срок службы определен как календарная продолжительность эксплуатации объекта от начала эксплуатации до достижения объектом предельного состояния.

Любая открытая система находится в состоянии непрерывного взаимодействия и взаимного обмена энергией, веществом, информацией с окружающей средой. В качестве меры неопределенности, хаоса и организованности такой системы следует использовать вероятностный подход и, в частности, энтропийный.

Нарушение функционирования системы в процессе эксплуатации приводит к изменению ее энтропии, как меры неопределенности состояния системы. Перед сдачей системы в эксплуатацию все параметры системы полагаются известными и в этом смысле энтропия системы равна нулю. Взаимодействие системы с внешней средой ведет к росту энтропии, которая достигает максимального значения. По мере приближения к концу срока эксплуатации энтропия уменьшается, и система переходит в состояние отказа (состояния неработоспособности).

Рассмотренный выше принцип максимума производства энтропии представлен в [13, 14]. Максимум энтропии или критическая точка необратимости соответствует времени, которое

интерпретируется как предельное значение времени наработок, при котором недопустима дальнейшая эксплуатация оборудования в связи с неизбежностью отказа.

Этот принцип (принцип Г. Циглера) использован в [15] для определения времени жизни трубопровода.

О сроке службы оптоволоконной линии

В оптических системах связи оптоволоконная линия (ОВЛ) является одним из элементов, от работоспособности которой зависит качество предоставляемых услуг. Срок службы ОВЛ определяется сроком службы оптоволокна (ОВ).

В процессе эксплуатации ОВЛ появляются отказы. Под отказом понимается событие, которое нарушает работоспособность системы. Применительно к оптическому кабелю отказ можно рассматривать как превышение порогового значения ослабления сигнала или обрыв оптического волокна. Соответственно различают оптическую и механическую надежности, которые определяются как

$$P(t) = \text{Вер}(T \geq t),$$

где T – время наступления отказа.

Надежность оптического кабеля (ОК) также может оцениваться его сроком службы, который определяется, как правило, сроком службы ОВЛ. Срок службы или долговечность ОВЛ определяется как гамма-процентный срок службы (календарная продолжительность от начала эксплуатации ОВЛ, в течение которой она не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ). Предельное состояние определяется как достижение за интервал времени T_1 порогового значения ослабления сигнала или достижение порогового значения интенсивности отказов (T_2), или поступления времени T_3, при котором параметры ОК не удовлетворяют современным условиям эксплуатации (моральный износ).

С механической точки зрения долговечность ОВ определяется:

1. начальной прочностью ОВ;
2. наличием и глубиной микротрещин на поверхности ОВ;
3. скоростью деградации ОВ определяемой скоростью роста микротрещин на поверхности ОВ;
4. окружающей средой, приводящей к ослаблению материала, из которого изготовлено ОВ.

Вопросам оценки срока службы ОВЛ посвящены работы [16-21] и др., в которых используется вероятностный подход.

Методика использования энтропийного подхода к оценке срока службы оптоволоконной линии

В основу предлагаемого подхода положен принцип Г. Циглера максимума производства энтропии как показателя, определяющего срок службы ОВЛ.

Существующие методики прогноза роста трещин в оптическом кабеле основаны на случайном распределении дефектов, вызывающих разрушение. Так, в [22] показано, что на срок службы кабеля влияет эксплуатационное напряжение, число обрывов волокна при прохождении испытаний, а также параметры оптического волокна.

Для расчета вероятности безотказной работы оптического волокна в течение его срока службы воспользуемся формулой, предложенной Мицунага [19]:

$$F = \exp\left(-N_p \cdot L \cdot \frac{m}{n-2} \cdot \frac{\sigma_a^n t_a}{\sigma_p^n t_p}\right), \qquad (2)$$

где t_a – время до отказа;

t_p - время пробного испытания;

σ_p – напряжение, приложенное при испытании;

σ_a - эксплуатационное напряжение;

L - длина волокна, для которой прогнозирую срок службы;

N_p - среднее число обрывов волокна на единицу длины при испытании;

n - параметр коррозии под напряжением;

m - параметр распределения Вейбулла.

Прочность кварцевого волокна под действием статической нагрузки изменяется, как [16]:

$$S_i^{n-2} = S_{i-1}^{n-2} - \frac{\sigma_a^n \Delta t_i}{B},$$

где S_i и $S_{i\text{-}1}$ - – прочность оптического волокна в начале и в конце интервала времени Δt_i;

B – параметр прочности.

С учетом выражения [16] $\sigma_p^n t_p = B \cdot S_0^{n-2}$, где S_0 - исходная прочность оптического волокна в начале испытаний, формулу для расчета вероятности безотказной работы оптического волокна (2) в момент времени i можно записать:

$$F = \exp\left(-N_p \cdot L \cdot \frac{m}{n-2} \cdot \frac{\left(S_{i-1}^{n-2} - S_i^{n-2}\right) \cdot t_a}{\Delta t \cdot S_0^{n-2}}\right).$$

В качестве исходных данных для определения вероятности отказа приняты следующие значения [22]:

1) время пробного испытания 0.05 с;
2) параметр коррозии под напряжением n=20;
3) параметр распределения Вейбулла m=2.359.

В процессе эксплуатации оптического кабеля образуются дефекты, которые можно рассматривать как счетные множества. Степень неоднородности или разнообразия дефектов зависит от общего числа элементов и их плотности в данном множестве. Для измерения разнообразия множества используют энтропию данного множества. При этом максимум величины энтропии при эксплуатации системы достигается к моменту времени разрушения, деградации.

Разобьем длину оптического волокна, для которого прогнозируется срок службы, на l независимых непересекающихся участков. Так как обрыв волокна на любом участке приводит к выходу из строя всего волокна, то рассматриваемые участки можно рассматривать как последовательность независимых соединении элементов.

Согласно свойству энтропии для независимых случайных величин, энтропия всей длины оптического кабеля, состоящего из участков, может быть вычислена по формуле:

$$H_p(t) = \sum_{i=1}^{l} H_{d_i}(t) = -\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{2} P_{ij}(t) \cdot \ln P_{ij}(t),$$

где P_{ij} - вероятность нахождения участка волокна в соответствующем состоянии j (работоспособном состоянии или отказа).

Рассмотрим участок оптического кабеля длиной 100 км. Предположим, что эксплуатационное напряжение за весь период эксплуатации волокна постоянное. Среднее число обрывов волокна на единицу длины при испытании N_p = 0.01 км$^{-1}$ [16].

На рисунке 1 представлен график зависимости энтропии участка оптического волокна от времени. Для рассматриваемого участка максимальное значение энтропии соответствует вероятности безотказной работы 0.954. Таким образом, срок службы оптического кабеля длиной 100 км (при постоянном напряжении эксплуатации) около 80 лет.

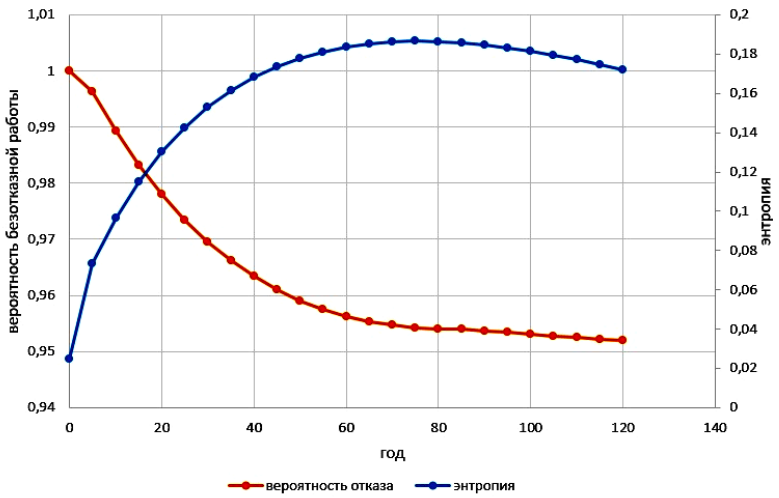


Рисунок 1 - Зависимость энтропии участка оптического волокна от времени.

Разобьем длину оптического волокна, на которую прогнозируют срок службы, на семь независимых непересекающихся участков. Согласно [19] для n=20 безопасное эксплуатационное напряжение не должно превышать 1/5 напряжения при испытании.

Предположим, что на одном из участков наблюдается превышение эксплуатационного напряжения на 5%. Расчеты показали, что такое превышение приводит к снижению срока эксплуатации оптического кабеля на 5 лет (рисунок 2).

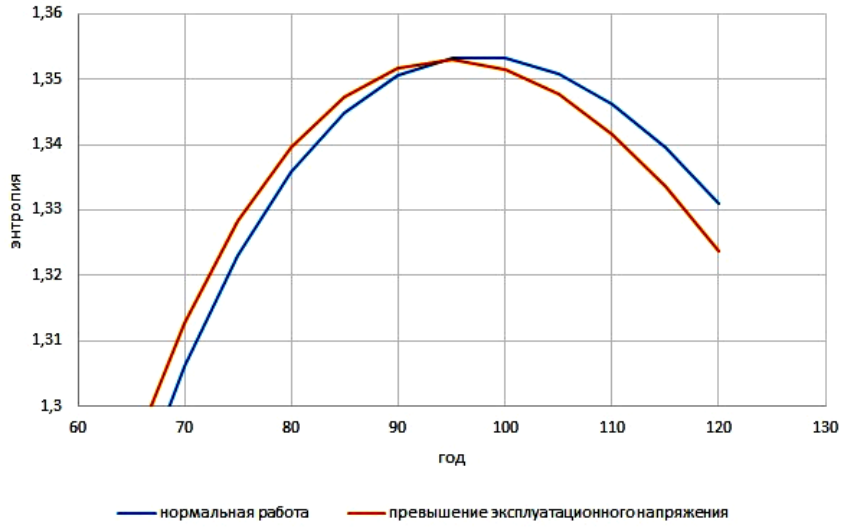


Рисунок 2 - Влияние величины эксплуатационного напряжения на срок службы оптического кабеля.

Заключение

В настоящей статье обосновано использование принципа Циглера для прогнозирования срока службы оптического волокна. Так как отказы в оптическом волокне являются независимыми событиями, то энтропийный подход позволяет оценить изменения работоспособного состояния в зависимости от срока эксплуатации.

В дальнейшем планируется создание универсальной методики для прогнозирования изменения технического состояния оптического кабеля в процессе эксплуатации на основе энтропийного подхода.

Благодарности

Работа проведена в рамках Государственного задания №071-03-2023-001 от 19.01.2023 г.

Литература

1. Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: вопросы управления сложными системами. – М.: Наука, 2003. – 428 с.
2. Лицкевич А.П. Энтропийный подход к анализу надежности технических объектов. / А.П. Лицкевич, Б.Н. Лобов, Лицкевич С.А. // Транспортное дело России (Transport business in Russia), 2017. - №3. – с. 107-110.
3. Любивая Т.Г. Энтропийный подход в оценке эффективности управления в сфере образовательных услуг. // Вектор науки ТГУ, 2014. - №2 (218). – с.116-118.
4. Тырсин А.Н., Сурина А.А. Энтропийный подход к риск-анализу систем критичных инфраструктур. // Материалы 66-й научной конференции «Наука ЮУрГУ», 2014. – с. 210-217.
5. Дюров В.В, Невмержицкая Т.Д. Энтропийная оценка надежности электроэнергетических установок. // Материалы 77-й научно-технической конференции студентов и аспирантов «Актуальные проблемы энергетики», 2021. – с. 31-38.
6. Полищук Ю.В. Энтропийный подход к оценке ущерба от реализации угроз безопасности информации больших технических систем. // Вопросы кибербезопасности, 2018. - №1 (25). – с. 39-45.
7. Острейковский В.А., Шевченко Е.Н. О роли оператора энтропии при оценке и анализе показателей долговечности сложных технических динамических систем. // Надежность и качество сложных систем, 2019. - № 3(27). – с. 3-16.
8. Крамаренко С.С. Метод использования энтропийно-информационного анализа для количественных признаков. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2005. – Т.7. – №1. – с. 242-247.
9. Смагин В.А., Парамонов И.Ю. Об энтропийном критерии оценивания качества информационных систем. // Информация и космос, 2015. - № 3. – с. 80-87.
10. Деева В.С., Романишина С.А., Слободян С.М. Устойчивость энтропийной оценки живучести систем. // Известия Томского политехнического университета, 2013. – Т. 322. - № 2. – с. 67-72.
11. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. - М.: Изд. иностр. лит. 1963. - 830 с.
12. ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике: надежность объекта. Термины и определения. - М.: Российский институт стандартизации, 2021. - 36 с.

13. Мартюшев Л.М. Принцип максимального производства энтропии в физике и смежных областях / Л.М. Мартюшев, В.Д. Селезнев. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. - 83 с.
14. Г. Циглер. Экстремальные принципы термодинамики необратимых процессов и механики сплошной среды. - М.: Мир,1966. – 136 с.
15. Тимашев С.А., Бушинская А.В. Оценка энтропии трубопроводных систем с коррозионными дефектами на основе марковского процесса. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2013. - Т. 15. - №4. - с. 159-164.
16. Сценарии прогноза срока службы оптического волокна в КЛС / В. Андреев, В. Бурдин, А. Нижегородов // Первая миля, 2020. - № 4. - с. 34-42.
17. Цым А.Ю. Сроки службы оптических кабелей. Анализы. Риски // Кабели и провода, 2020. – № 2 (382). - с. 20-26.
18. Воронков А.А., Алехин И.Н. Прогнозирование срока службы оптических кабелей связи, эксплуатирующихся в условиях низких температур. // Известия самарского научного центра российской академии наук, 2014. – Т.16. - № 4-3. – с.516-519
19. Glaesemann G.S. Optical Fiber Mechanical Reliability. Review of Research at Corning's Optical Fiber Strength Laboratory. White Paper, WP 8002. – Corning Inc., July 2017. - 62 p.
20. Mitsunaga Y., Katsuyama Y., Kobayashi H., Ishida Y. Failure prediction for long length optical fiber based on proof testing // Journal of Applied Physics, 1982. - V. 53. - No. 7. - P. 4847–4853.
21. Семенов С.Л. Прочность и долговечность волоконных световодов на основе кварцевого стекла. Автореферат диссертации на соискание научной степени доктора физико-математических наук. – М.: Научный центр волоконной оптики РАН, 2007. – 33 с.
22. ITU-T G-series Recommendations – Supplement 59, SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS, Guidance on optical fibre and cable reliability, (02/2018). – 21 p.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПОЖАРА В ЗДАНИЯХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Михайлов К.А., Тараканов Д.В., Горюнова В.В.
Академия Государственной противопожарной службы МЧС России
+7(925)750-53-31, mihkir.94@mail.ru

В исследовании проанализировано использование информационных технологий при мониторинге пожара в зданиях текстильных производств. Их применение позволит повысить результативность пожарных подразделений при поиске пожара в зданиях текстильных производств. Целью исследования является совершенствование системы управления на пожаре в зданиях текстильных производств. Результатом проведенного исследования является показатель результативности пожарных подразделений при мониторинге пожара в зданиях текстильных производств.
Ключевые слова: технологии мониторинга, средства мониторинга, текстильные производства, пожарные подразделения.

Information technologies application in fire monitoring in textile production buildings. Mikhailov K. A., Tarakanov D. V., Goryunova V. V. The State Fire Academy of EMERCOM of Russia.

The study analyzes the information technologies using in fire monitoring in textile production buildings. Their use will increase the effectiveness of fire departments when searching for a fire in textile production buildings. The aim of the study is to improve the fire control system in textile production buildings. The result of the study is an indicator of the effectiveness of fire departments in monitoring a fire in textile production buildings.
Keywords: monitoring technologies, monitoring tools, textile production, fire units.

В настоящее время, когда производство тканей и текстиля становится все более автоматизированным и высокотехнологичным, мониторинг пожаров в зданиях текстильных производств является крайне важной задачей. Современные информационные технологии позволяют значительно улучшить эффективность и точность мониторинга, что в свою очередь может помочь руководителю тушения пожара оптимально управлять имеющимися ресурсами.

Объектно-ориентированное управление пожарными подразделениями представляет методологию организации и управления пожарными подразделениями, основанную на использовании объектов и классов для представления оперативных подразделений, задач, ресурсов и других элементов пожарной

охраны. Так объектами выступают пожарные подразделения и стоящие перед ними задачи по тушению пожара.

В зданиях текстильных производств действия по тушению пожара часто приходится проводить в условиях ограниченной (сниженной) видимости, что может снизить их эффективность. Применение современных информационных технологий и средств позволяет улучшить информационное обеспечение пожарных подразделений (ПСП) [1-3]. Например, пожарные могут использовать информационные средства мониторинга инфракрасного диапазона при разведке пожара внутри зданий [4, 5].

При разработке планов пожаротушения на текстильных производствах важно учесть технические возможности ПСП и её готовность использовать информационные технологии и средства [6]. В ходе планирования рассматриваются различные характеристики, связанные с функционированием ПСП, такие как площадь пожара [7], продолжительность работы пожарных [8], время, необходимое для локализации и тушения пожара [9], вероятность обнаружения пожара [5] и многое другое.

Таким образом, задачей данного исследования является разработка показателя эффективности пожарных подразделений в зданиях текстильных производств с учетом использования современных информационных средств мониторинга пожара.

Производительность поиска U пожарных подразделений в зданиях текстильных производств можно рассчитать по следующему выражению[10]:

$$U = V((m-1)d + 2D), \tag{1}$$

где V – скорость движения пожарных подразделений, м/мин; m – количество пожарных подразделений; d – эффективное расстояние между пожарными подразделениями, м; D – условия видимости, м.

В контексте решения проблем, связанных с информационным обеспечением действий по ликвидации пожаров в зданиях, где располагаются текстильные производства, соотношение (1) служит для оценки производительности работы от 1-го до 3-х пожарных подразделений.

При использовании средств мониторинга пожара подразделениями пожарной охраны в выражении (1) условия видимости значительно улучшатся, что увеличит производительность поиска на пожаре.

Производительность поиска пожарных подразделений при проведении разведки и мониторинга пожара в зданиях текстильных производств можно представить графически в виде прямоугольников, показанных на рисунке 1.

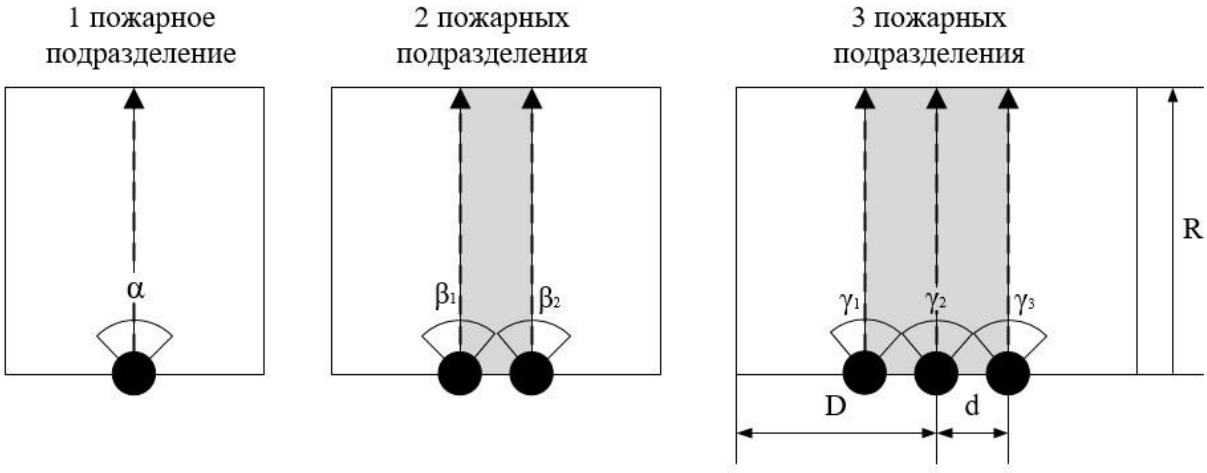


Рисунок 1 – Графическая интерпретация производительности поиска пожарных подразделений

На рисунке 1 обозначение R представляет собой направление движения пожарных, а α, β_i, γ_j - углы обзора в дыму пожарных подразделений.

Возможная площадь, которую могут охватить пожарные подразделения при проведении разведки пожара за время τ, можно вычислить по следующей формуле:

$$S_{ГДЗС} = U \cdot \tau, \text{ м}^2. \tag{2}$$

Эффективность работы пожарных подразделений можно оценить через соотношение между возможной зоной поиска (2) и общей зоной поиска (площадью зданий текстильной промышленности):

$$K_t = \frac{S_{ГДЗС}}{S}. \tag{3}$$

Таким образом, можно заключить, что чем больше значение показателя (3), тем успешнее пожарные подразделения находят объекты во время пожара на территории текстильных производств.

Чтобы выразить показатель (3) к общепринятому нормализованному показателю эффективности E, разложим exp(K) с помощью ряда Тейлора. Следующая формула даст формулу для оценки эффективности работы пожарных подразделений при проведении разведки в здании текстильных производств:

$$E = \frac{K_t}{1 + K_t} \cdot \tag{4}$$

Используя соотношение (4), можно проанализировать эффективность использования средств мониторинга в виде канонического уравнения:

$$\frac{1}{E} - \frac{1}{K_t} = 1 . \tag{5}$$

Итоговая величина формулы (5) характеризует тактическую готовность пожарных бригад в ходе выполнения задач в здании и равняется 1. Таким образом, выражение (5) представляет собой инструмент для оценки тактической готовности пожарных подразделений, который учитывает два ключевых аспекта: эффективность использования средств мониторинга и способность подразделений выполнять свои задачи.

Тактическая готовность пожарных подразделений - это комплекс мер и действий, направленных на обеспечение быстрого и эффективного реагирования на возможные пожары и чрезвычайные ситуации. Она включает в себя подготовку личного состава, наличие необходимого оборудования и техники, а также разработку планов и алгоритмов действий в различных ситуациях. Одним из ключевых элементов тактической готовности является использование современных информационных технологий, которые позволяют оперативно получать информацию о пожаре, определять его местоположение и оценивать степень опасности. Это помогает принимать быстрые и правильные решения, а также координировать действия пожарных и других служб.

Кроме того, тактическая готовность подразумевает наличие четкой системы взаимодействия между различными подразделениями и службами, а также координацию действий с местными органами власти и населением. Это позволяет максимально эффективно использовать ресурсы и время при реагировании на пожар или другую чрезвычайную ситуацию.

Проведено моделирование действий пожарных, произведено сравнение результатов расчетов с применением и без применения средств мониторинга. По полученным данным построены графики показателей результативности для 1 и 2 пожарных подразделений.

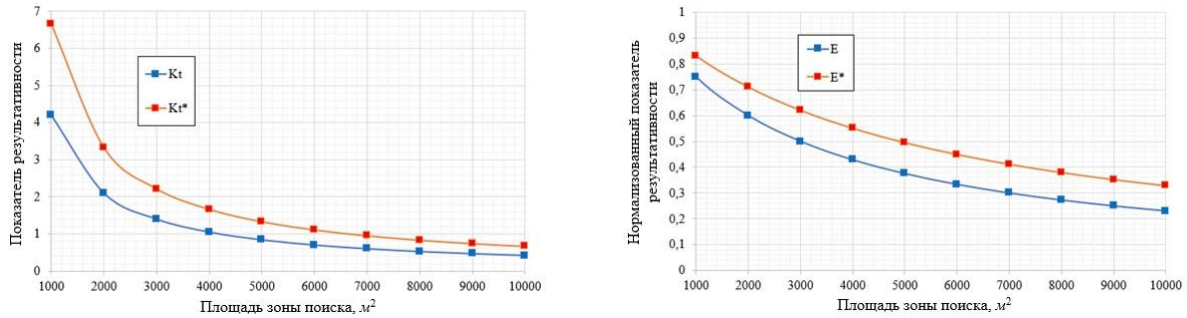


Рисунок 2 – Динамика показателей результативности для 1 пожарного подразделения

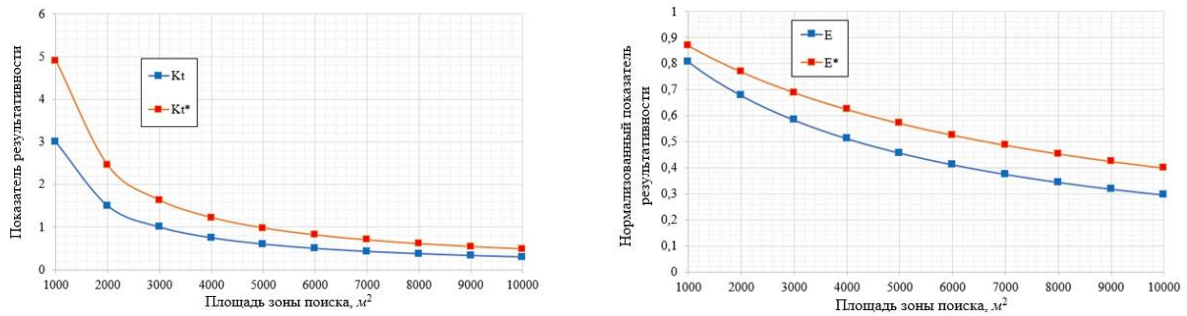


Рисунок 3 – Динамика показателей результативности для 2 пожарных подразделений

Из анализа графиков, представленных на рисунках 2 и 3, следует, что использование средств мониторинга пожарными подразделениями позволяет улучшить видимость и повысить производительность поиска пожара на 10-15%.

Использование систем мониторинга пожаров, использующих коротковолновое инфракрасное излучение, в контексте информационного обеспечения процессов принятия управленческих решений в условиях пожара является необходимым в случаях, когда проведение разведки в зданиях текстильных производств ограничено в условиях задымленности. Так с точки зрения объектно-ориентированного управления легко управлять пожарными подразделениями, задачами и ресурсами, упрощая процесс управления и создание баз данных подразделений, ресурсов для дальнейшего анализа использования в работе.

В рамках исследования разработан показатель результативности пожарных подразделений, оснащенных средствами мониторинга. Было проведено аналитическое исследование функционального представления показателя с использованием разложения его компонент по ряду Тейлора с целью приведения к стандартной форме, что позволило выполнить анализ эффективности применения средств мониторинга по отдельности.

Кроме того, было изучено влияние использования информационных систем мониторинга на основе коротковолнового инфракрасного излучения на эффективность процесса принятия управленческих решений. В качестве модельного примера было продемонстрировано, что такое решение может повысить результативность работы пожарных на 10-15% благодаря улучшению видимости в условиях задымления, а также улучшению координации действий и пространственной ориентации пожарных в зданиях текстильных производств.

Литература

1. Михайлов К.А. Модель для информационной поддержки управления пожарными подразделениями при тушении пожаров в зданиях // Технологии техносферной безопасности. – 2022. – Вып. 2 (96). – С. 141-150.

2. Ульянова Е. А., Семенов А. О. Повышение эффективности пожарно-спасательных подразделений с помощью увеличения качества информационного обеспечения // Актуальные вопросы пожаротушения: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 30 мая 2019 года. – Иваново: 2019. – С. 131-134.

3. Гринченко Б.Б., Кузнецов А.В., Баканов М.О., Тараканов Д.В. Многофакторный мониторинг динамики пожара в зданиях текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 4 (382). – С. 153-159.

4. Топольский Н. Г., Тараканов Д. В., Михайлов К. А., Мокшанцев А. В. Совершенствование информационного обеспечения групп разведки пожара при его мониторинге в здании с использованием инфракрасных технологий // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. 2019. – Т. 28. – № 3. – С. 89-97.

5. Алешков М. В., Попов С. В., Топольский Н. Г., Мокшанцев А. В., Михайлов К. А., Афанасов Д. С., Самсонов К. Н., Ифтоди Л. А. Результаты испытаний измерительных средств инфракрасного диапазона по обнаружению очага возгорания // Технологии техносферной безопасности. 2021. Вып. 3 (93). С. 19-28.

6. Золотухин М. М., Рамазанов С. В., Лакиза Е. В., Рудаков Е. А. Документы предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – № 1(9). – С. 172-173.

7. Малютин О. С. Прогнозирование возможной площади пожара с применением клеточных автоматов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2018. – № 2(9). – С. 24-28.

8. Топольский Н. Г., Тараканов Д. В., Михайлов К. А. Теоретические основы поддержки управления пожарными подразделениями на основе мониторинга динамики пожара в здании: Монография / Под общей редакцией д-ра техн. наук, профессора Н. Г. Топольского - М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. - 320 с.

9. Станкевич Т. С. Информационно-аналитическая поддержка принятия управленческих решений при тушении пожаров в морских портах в условиях неопределенности // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2017. – № 4. – С. 71-80.

10. Теребнев В.В., Артемьев Н.С., Корольченко Д.А., Подгрушный А.В., Фомин В.И., Грачев В.А. Промышленные здания и сооружения. Серия «Противопожарная защита и тушение пожаров». Книга 2. – М.: Пожнаука, 2006. – 412 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КАМЕР ФИКСАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В УМНЫХ ГРОУБОКСАХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАДИЙ РОСТА РАСТЕНИЙ

Заикин Я.В., Степушин К.А, Никитин Г.Э.
НИУ ВШЭ

Появление технологий произвело революцию в различных отраслях, включая сельское хозяйство. Одним из наиболее значительных достижений в этой области является использование интеллектуальных камер в теплицах для мониторинга стадии роста растений и выявления возможных заболеваний. Эти интеллектуальные камеры в сочетании с алгоритмами искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (ML) могут в режиме реального времени предоставлять данные о здоровье растений, стадии роста и об обнаружении заболеваний, что позволяет фермерам принимать обоснованные решения и своевременно принимать меры.

Ключевые слова: умные теплицы, машинное обучение, умные камеры, обработка изображений.

The use of image capture cameras in smart growboxes to determine the stages of plant growth. Zaikin I.V., Stepushin K.A., Nikitin G.E. HSE.

The advent of technology has revolutionized various sectors, including agriculture. One of the most significant advancements in this field is the use of smart cameras in greenhouses to monitor plant growth stages and detect possible diseases. These smart cameras, coupled with artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) algorithms, can provide real-time data on plant health, growth stage, and disease detection, thereby enabling farmers to make informed decisions and take timely action.

Keywords: smart greenhouses, machine learning, smart cameras, image processing.

Введение

В контексте умных теплиц камеры играют ключевую роль как составляющая экосистемы (см. рисунок 1) Интернета вещей (IoT) [5]. IoT – это сеть физических устройств, оснащенных датчиками, программным обеспечением и другими технологиями, которые позволяют им соединяться и обмениваться данными через Интернет [9]. В случае "умных" теплиц эта сеть включает в себя "умные" камеры, датчики окружающей среды и системы управления, объединенные для оптимизации условий роста растений [8].



Рисунок 1 – Различные типы приложений для сельского хозяйства для IoT

Умные камеры, в частности, широко используются в промышленных теплицах [4]. Эти камеры оснащены датчиками высокого разрешения и расширенными функциями, такими как масштабирование и фокусировка, что позволяет им получать детальные изображения растений [7]. Эти изображения служат богатым источником данных для алгоритмов ИИ и ОД, которые анализируют изображения для мониторинга состояния здоровья и стадии роста растений, выявления заболеваний и оценки условий окружающей среды [10].

В промышленных теплицах умные камеры могут определять различные параметры. К ним относятся цвет и текстура листьев, которые могут указывать на состояние здоровья растений; размер и форма растений, которые могут указывать на стадию роста; а также признаки вредителей или болезней [11]. Камеры также могут отслеживать условия окружающей среды, такие как интенсивность света, температура и влажность [6].

В домашней оранжерее использование интеллектуальных камер может быть несколько иным. Хотя применяются те же принципы получения и анализа изображений, масштаб и сложность системы могут быть меньше, чем в промышленных условиях [2]. Однако используемые алгоритмы могут быть одинаковыми или похожими, в зависимости от конкретных потребностей и ресурсов домашней теплицы.

Использование камер для обработки изображения

Структура взаимодействия между камерой и другими элементами в умной теплице включает в себя несколько этапов. Сначала умная камера делает снимки растений через регулярные промежутки времени [1]. Затем эти изображения обрабатываются и анализируются с помощью алгоритмов искусственного интеллекта и ML либо на самой камере (edge computing), либо на отдельном компьютере или облачном сервере [3].

Результаты анализа отправляются в систему управления, которая при необходимости корректирует условия в теплице [5]. Например, если анализ показывает, что растениям не хватает определенных питательных веществ, система управления может отрегулировать систему подачи питательных веществ, чтобы обеспечить необходимые питательные вещества.

Связь между интеллектуальной камерой и другими элементами в теплице обеспечивается протоколами связи. Эти протоколы определяют правила передачи данных и обеспечивают их точную и безопасную передачу. Общие протоколы, используемые в IoT, включают MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), HTTP (Hypertext Transfer Protocol) и CoAP (Constrained Application Protocol) [7].

Умные камеры в теплицах работают путем получения изображений растений с высоким разрешением. Затем эти изображения обрабатываются и анализируются с помощью алгоритмов искусственного интеллекта и ML для извлечения полезной информации о состоянии здоровья и стадии роста растений (см. рисунок 2). Особенно эффективно в этом отношении использование сверточных нейронных сетей (CNN) - одного из видов алгоритмов глубокого обучения. CNN разработаны для автоматического и адаптивного обучения пространственной иерархии характеристик изображений, что делает их идеальными для задач анализа изображений [5].

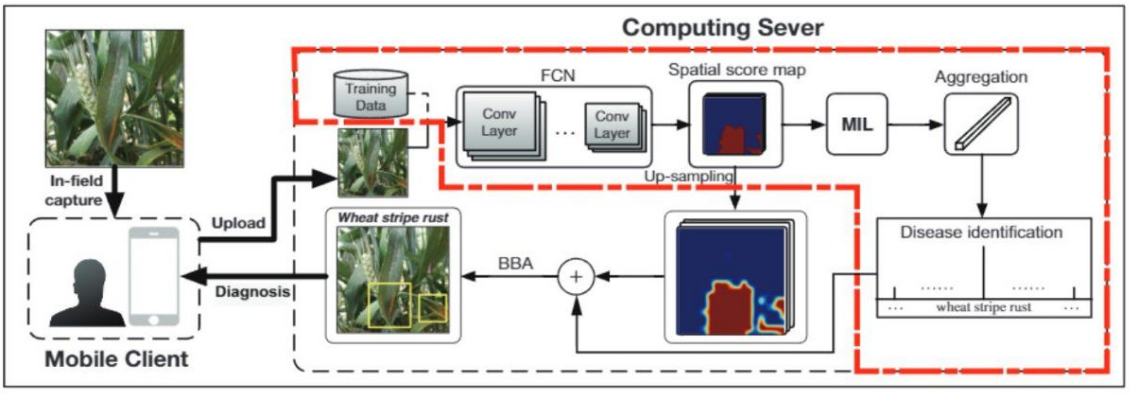


Рисунок 2 – Архитектура системы определения болезней растения

Одной из популярных моделей CNN, используемых для обнаружения болезней растений, является модель AlexNet. AlexNet – это глубокая CNN, которая стала победителем конкурса ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge в 2012 году [9]. Она состоит из пяти сверточных слоев, за некоторыми из которых следуют слои max-pooling, и трех полностью связанных слоев с конечным 1000-ходовым softmax. Эта модель широко используется для обнаружения заболеваний растений благодаря своей способности извлекать высокоуровневые признаки из изображений и отличной производительности в задачах классификации изображений [8].

Использование интеллектуальных камер и ИИ в теплицах не ограничивается только обнаружением заболеваний. Эти технологии также могут быть использованы для определения стадии роста растений. Это очень важно, поскольку разные стадии роста требуют разного ухода и управления. Например, требования к поливу, удобрению и освещению растений на вегетативной стадии отличаются от требований на стадии цветения. Точно определив стадию роста растений, фермеры могут обеспечить оптимальные условия для каждой стадии, тем самым максимизируя урожай и качество.

Алгоритмы ИИ для определения стадий роста растений

О Одним из способов использования ИИ для определения стадии роста растений является использование моделей глубокого обучения, таких как модель ResNet. ResNet, сокращенно от Residual Network, – это CNN (см. рисунок 3), которая использует короткие связи для решения проблемы исчезающих градиентов, распространенной в глубоких нейронных сетях [4]. Эти короткие связи позволяют модели изучать функции тождества, что облегчает обучение модели желаемому выходу. Это сделало ResNet популярным выбором для различных задач распознавания изображений, включая определение стадии роста растений [7].

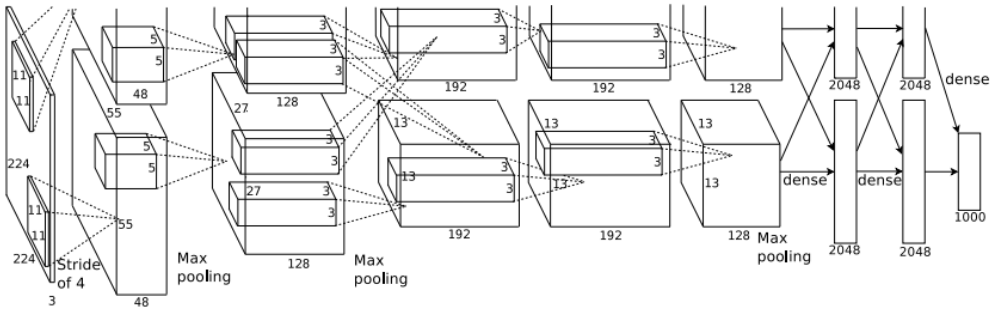


Рисунок 3 – Иллюстрация архитектуры CNN

Что касается точности, исследования показали, что модели ИИ могут достигать высоких показателей точности при обнаружении болезней растений и определении стадии роста. Например, исследование, проведенное Scalisi et al. (2019) по непрерывному обнаружению новых индикаторов водного статуса растений на I стадии роста плодов нектарина, показало, что использованная модель ИИ смогла точно определить стадию роста плодов нектарина [10]. Хотя точный показатель точности в исследовании не был указан, результаты показали высокий уровень точности, демонстрируя потенциал ИИ в этой области.

Помимо программного обеспечения, аппаратное обеспечение, используемое в умных теплицах, также играет решающую роль в успешном внедрении этих технологий. Например, выбор интеллектуальных камер может существенно повлиять на качество получаемых изображений и, следовательно, на точность моделей ИИ. Камеры с высоким разрешением предпочтительнее, так как они способны фиксировать больше деталей, что может быть полезно при обнаружении тонких признаков заболеваний или изменений в стадиях роста.

Что касается вычислительной мощности, то использование алгоритмов ИИ и ОД требует значительных вычислительных ресурсов. Это особенно актуально для моделей глубокого обучения, которые предполагают сложные математические операции и большие объемы данных. Поэтому для эффективной работы таких моделей необходимы мощные процессоры и достаточный объем памяти. В некоторых теплицах используются пограничные вычислительные устройства, которые обрабатывают данные на месте, что снижает необходимость передачи данных и позволяет проводить анализ в режиме реального времени [11].

Несмотря на многочисленные преимущества использования интеллектуальных камер и ИИ в теплицах, существуют и проблемы, которые необходимо решать. Одной из основных проблем является высокая стоимость этих технологий. Умные камеры высокого разрешения, мощные процессоры и другое необходимое оборудование могут быть дорогими, что затрудняет внедрение этих технологий мелкими фермерами. Кроме того, разработка и внедрение моделей ИИ требует специальных знаний в области ИИ и ОД, которые могут быть доступны не всем фермерам.

Еще одной проблемой является изменчивость условий окружающей среды внутри теплиц и между ними. Такие факторы, как освещение, температура и влажность, могут влиять на качество изображений, получаемых с помощью интеллектуальных камер, что в свою очередь может повлиять на производительность моделей ИИ. Поэтому важно разработать надежные модели ИИ, которые могут справиться с такой изменчивостью и при этом показывать точные результаты.

Несмотря на эти проблемы, потенциальные преимущества использования интеллектуальных камер и ИИ в теплицах весьма значительны. Предоставляя в режиме реального времени точную информацию о состоянии здоровья и стадии роста растений, эти технологии могут помочь фермерам оптимизировать свою практику, сократить потери от болезней, повысить урожайность и качество. Таким образом, они представляют собой перспективный инструмент для устойчивого и эффективного сельского хозяйства.

Будущее "умных" теплиц выглядит многообещающим, поскольку постоянный прогресс в технологии предоставляет новые возможности для улучшения. Одним из таких достижений является использование гиперспектральной съемки, которая улавливает и обрабатывает информацию из всего электромагнитного спектра. Это позволяет получить более подробную информацию о растениях, включая их питательный статус, содержание воды и состояние болезней [6].

Заглядывая в будущее, становится ясно, что интеграция ИИ и IoT в умные теплицы будет развиваться и дальше. Потенциал этих технологий для революции в сельском хозяйстве огромен, они предлагают возможности для повышения эффективности, производительности и устойчивости. Однако важно также учитывать этические и общественные последствия этих технологий. Как и при любом технологическом прогрессе, очень важно обеспечить доступность преимуществ для всех и адекватное управление потенциальными рисками.

С точки зрения доступности, необходимо приложить усилия для снижения стоимости этих технологий и обеспечить обучение и поддержку фермеров, особенно мелких, чтобы они могли внедрять эти технологии. С точки зрения управления рисками, необходимо принять меры по защите конфиденциальности и безопасности данных, собираемых умными камерами и устройствами IoT. Кроме того, использование ИИ в процессах принятия решений должно быть прозрачным и объяснимым, чтобы фермеры понимали и доверяли рекомендациям, сделанным моделями ИИ.

Интеграция ИИ и IoT в умные теплицы – это не только повышение эффективности и производительности. Речь также идет о создании более устойчивой сельскохозяйственной системы. Предоставляя в режиме реального времени точную информацию о состоянии здоровья растений и стадиях их роста, эти технологии могут помочь фермерам оптимизировать использование ресурсов, таких как вода и удобрения, тем самым сокращая количество отходов и воздействие на окружающую среду.

Например, точно определяя стадию роста растений, фермеры могут обеспечить оптимальное количество воды и удобрений для каждой стадии, тем самым избегая перерасхода. Аналогичным образом, обнаруживая болезни на ранней стадии, фермеры могут своевременно принять меры по борьбе с ними, тем самым снижая потребность в пестицидах. Это не только экономит ресурсы, но и снижает воздействие сельского хозяйства на окружающую среду.

Более того, использование ИИ и IoT в умных теплицах также может способствовать обеспечению продовольственной безопасности. Повышая эффективность и производительность, эти технологии могут помочь удовлетворить растущий спрос на продовольствие устойчивым способом. Это особенно важно в контексте изменения климата, которое создает значительные проблемы для сельского хозяйства.

Однако, несмотря на значительные потенциальные преимущества этих технологий, важно также учитывать потенциальные риски и проблемы. Одной из основных проблем является высокая стоимость этих технологий, которая может стать барьером для их внедрения, особенно для мелких фермеров. Поэтому необходимо приложить усилия для снижения стоимости этих технологий и предоставить финансовую поддержку фермерам, чтобы они могли внедрить эти технологии.

Другой проблемой является необходимость технических знаний для внедрения и использования этих технологий. Это требует обучения и поддержки фермеров, а также разработки удобных для пользователей технологий, которые могут быть легко использованы фермерами.

Что касается рисков, то одной из основных проблем является конфиденциальность и безопасность данных, собираемых умными камерами и устройствами IoT. Эти устройства собирают большое количество данных, которые могут быть конфиденциальными и ценными. Поэтому необходимо принять меры для защиты конфиденциальности и безопасности этих данных.

Другой проблемой является потенциальное влияние этих технологий на занятость. Хотя эти технологии могут повысить эффективность и производительность, они также могут привести к потере рабочих мест, особенно для низкоквалифицированных работников. Поэтому важно учитывать социальные последствия применения этих технологий и принимать меры по смягчению любых негативных последствий.

Заключение

В заключение следует отметить, что использование интеллектуальных камер и ИИ в теплицах представляет собой значительный прогресс в сельском хозяйстве. Несмотря на имеющиеся проблемы, эти технологии дают многочисленные преимущества и открывают большие перспективы на будущее. Продолжая внедрять инновации и решать проблемы, мы сможем использовать весь потенциал этих технологий для создания более устойчивой и эффективной сельскохозяйственной системы.

Литература

1. Chang Y. K., Rehman T. U. Current and future applications of cost-effective smart cameras in agriculture //Robotics and Mechatronics for Agriculture. – CRC Press, 2017. – С. 75-120.

2. Chataut R., Phoummalayvane A. Unleashing the Power of IoT: A Comprehensive Review of IoT Applications, Advancements, and Future Prospects in Healthcare, Agriculture, Smart Homes, Smart Cities, and Industry 4.0. – 2023.
3. Condotta I. C. F. S. et al. Evaluation of low-cost depth cameras for agricultural applications //Computers and Electronics in Agriculture. – 2020. – Т. 173. – С. 105394.
4. He K. et al. Deep residual learning for image recognition //Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. – С. 770-778.
5. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks //Communications of the ACM. – 2017. – Т. 60. – №. 6. – С. 84-90.
6. Li L., Zhang Q., Huang D. A review of imaging techniques for plant phenotyping //Sensors. – 2014. – Т. 14. – №. 11. – С. 20078-20111.
7. Lu J. et al. An in-field automatic wheat disease diagnosis system //Computers and electronics in agriculture. – 2017. – Т. 142. – С. 369-379.
8. Mohanty S. P., Hughes D. P., Salathé M. Using deep learning for image-based plant disease detection //Frontiers in plant science. – 2016. – Т. 7. – С. 1419.
9. Russakovsky O. et al. Imagenet large scale visual recognition challenge //International journal of computer vision. – 2015. – Т. 115. – С. 211-252.
10. Scalisi A. et al. Continuous detection of new plant water status indicators in stage I of nectarine fruit growth //XXX International Horticultural Congress IHC2018: International Symposium on Water and Nutrient Relations and Management of 1253. – 2018. – С. 9-16.
11. Shi W. et al. Edge computing: Vision and challenges //IEEE internet of things journal. – 2016. – Т. 3. – №. 5. – С. 637-646.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Авдеюк Д. Н.
Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В данной научной статье исследуется применение датчиков для повышения точности рефлектометра, используемого для измерения параметров линий электропередач. Рефлектометры, используемые в этой области, позволяют анализировать и контролировать процессы передачи электроэнергии и обнаруживать возможные неисправности и повреждения в линиях. В ходе исследования были применены датчики, способные измерять различные физические параметры, такие как температура, влажность и посторонние влияния, связанные с линиями электропередач. Эти датчики были интегрированы в рефлектометр, что позволяет получать более точные и надежные данные о состоянии линий.

Ключевые слова: рефлектометр, линии электропередач, точность измерения, датчики, электроэнергия, надежность.

Method of increasing the reliability of localization of damage sites of main power lines. Avdeyuk D.N., Volgograd State Technical University

Abstract: This scientific article investigates the use of sensors to improve the accuracy of a reflectometer used to measure the parameters of power lines. Reflectometers used in this field allow you to analyze and monitor the processes of electricity transmission and detect possible malfunctions and damages in the lines. The study used sensors capable of measuring various physical parameters, such as temperature, humidity and extraneous influences associated with power lines. These sensors have been integrated into the reflectometer, which makes it possible to obtain more accurate and reliable data on the condition of the lines.

Keywords: reflectometer, power lines, measurement accuracy, sensors, electricity, reliability.

Электроэнергия является одной из основных источников энергии для промышленности, транспорта, бытовых нужд и других областей жизнедеятельности. Поэтому надежность и безопасность электроснабжения играют ключевую роль в обеспечении стабильности экономики и жизни людей.

Из анализа существующих методов передачи электроэнергии установлено, что проводная передача электроэнергии является наиболее распространенным и надежным способом передачи. Она осуществляется с помощью проводов, которые соединяют источник энергии (например, электростанцию) с потребителем. Проведен анализ проводных способов передачи электроэнергии установлено, что наиболее распространены воздушные линии электропередачи, в частности, для передачи электроэнергии на дальние расстояния используются магистральные линии электропередачи (МЛЭП).

Одна из важнейших задач в обеспечении надежности электроснабжения - быстрое и точное обнаружение и устранение повреждений линий электропередач, таких как обрывы проводов, короткие замыкания и другие неисправности. Локализация места повреждения является первым и важным шагом в устранении повреждения, поскольку позволяет своевременно направить бригаду для проведения ремонтных работ.

В настоящее время известно большое число различных методов определения мест повреждений. В зависимости от организации противоаварийного контроля эти методы делятся на дистанционные и топографические.

В линию электропередачи, на которой произошла аварийная ситуация, после отключения ее релейной защитной автоматикой, посылается зондирующий импульс, генерируемый рефлектометром, для локализации места аварии. Однако в любом рефлектометре перед измерением расстояния нужно установить коэффициент укорочения. Точность измерения расстояния до места повреждения зависит от правильной установки коэффициента укорочения.

Короткие импульсные сигналы, используемые при методе импульсной рефлектометрии распространяются в разных линиях с разной скоростью. Эта скорость определяется материалом изоляции проводников линии. Скорость распространения импульсных сигналов в воздушных линиях (изоляция - воздух) очень близка к скорости света в вакууме. Скорость распространения в кабельных линиях, в зависимости от материала изоляции, может быть значительно ниже (до нескольких раз) скорости распространения света в вакууме.

На основе проведенного анализа определены требования к информационно-измерительной системе контроля магистральных линий электропередач (рис. 1), которые регламентируют процесс контроля и диагностики магистральных линий электропередач с целью обеспечения их надежной и безопасной эксплуатации.

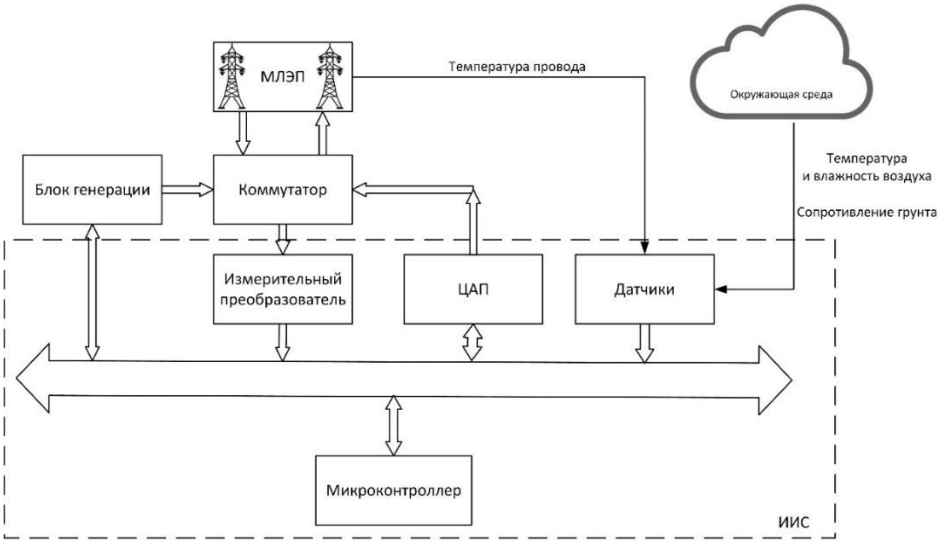


Рисунок 1 – Обобщённая структура информационно-измерительной системы мониторинга состояния ЛЭП

Для вычисления значений отклонения параметров от нормируемых значений необходимо измерить параметры окружающей среды, а именно:

- температуру провода;
- температуру воздуха;
- влажность воздуха;
- диэлектрическую проницаемость земли.

Разработана математическая модель учета факторов (рис. 2), влияющих на достоверность локализации места аварии на МЛЭП. Использование разработанной математической модели учета климатических факторов позволяет повысить надежность и эффективность системы мониторинга МЛЭП, ускорить процесс реагирования на аварийные ситуации и сократить время восстановления работы МЛЭП после аварий.

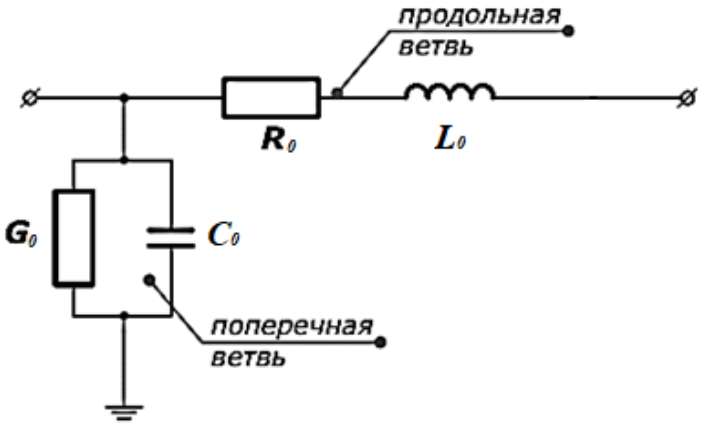


Рисунок 2 – Схема замещения элементарного участка МЛЭП

Характеристическими или вторичными параметрами длинной линии являются её коэффициенты затухания α, фазы β и волновое сопротивление Z_B.

Выразим характеристические параметры длинной линии через первичные параметры.

$$\gamma^2 = \left(R_0 + j\omega L_0\right)\times\left(G_0 + j\omega C_0\right) = \left(\alpha + j\beta\right)^2 \quad (1)$$

Поскольку для определения расстояния до места аварии используется фазовая скорость, то определим из этого выражения коэффициент фазы.

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\omega^2 L_0 C_0 - R_0 G_0 + \sqrt{\left(R_0^2 + \omega^2 L_0^2\right)\left(G_0^2 + \omega^2 C_0^2\right)}} \quad (2)$$

При частотах боле 1 МГц для большинства конструкции длинных линий выполняются условия $R_0 << wL_0$ и $G_0 << wC_0$. Поэтому на практике часто используется упрощенное выражение

$$\beta(\infty) = \omega\sqrt{L_0 C_0} \quad (3)$$

Фазовая скорость определяется соответственно с помощью выражения:

$$v_ф = \omega / \beta \quad (4)$$

Зависимость активного сопротивления от температуры провода определяется как

$$R_{0t} = R_{020}\cdot\left(1 + \alpha\left(t_{пр} - 20°\right)\right) \quad (5)$$

где R_{020} – табличное значение удельного сопротивления при температуре провода 20°С; $t_{пр}$ – температура провода, °С; α – температурный коэффициент электрического сопротивления, Ом/град.

Реактивное сопротивление проводника системы «провод-земля»

$$X_{пр} = 29 f \lg\frac{D_з}{r_0}\cdot 10^{-4}\ \ Ом/км \quad (6)$$

Разработан алгоритм и архитектура программного обеспечения (рис. 3) управления процессом повышения достоверности локализации места повреждения линии электропередачи позволяющий реализовать метод повышения достоверности локализации места аварии на линии электропередач используя ЭВМ.

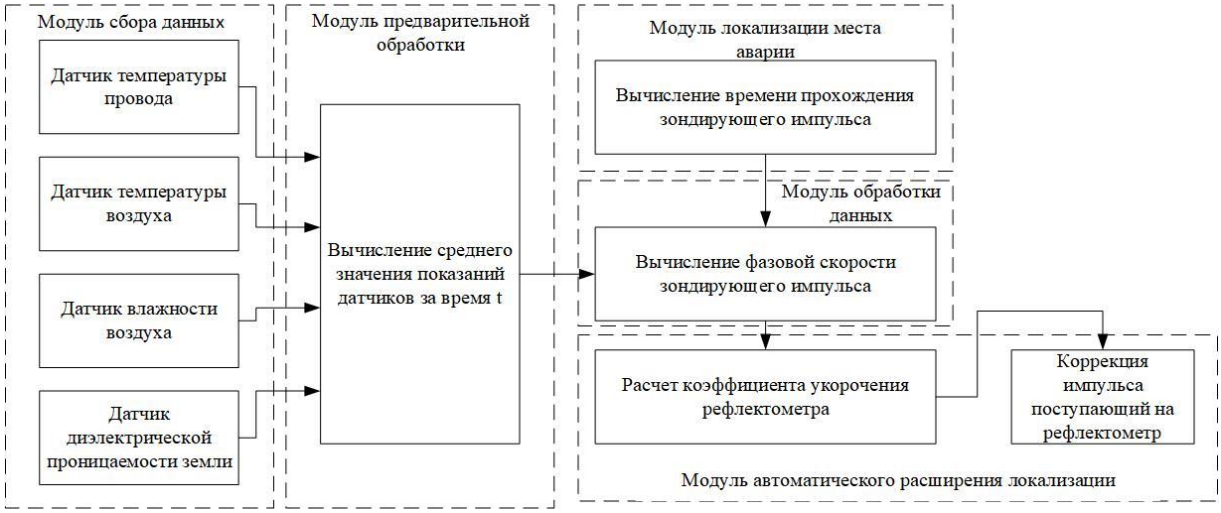


Рисунок 3 – Архитектура программного обеспечения ИИС

Разработан метод повышения достоверности локализации места аварии на линии электропередач, отличительной особенностью которого является использование данных от нескольких датчиков, расположенных на разных участках линии, и их комбинирование с помощью алгоритма вычисления коэффициента укорочения фазовой скорости.

Суть метода заключается в следующем. Рефлектометр для определения расстояния до места повреждения линии электропередачи подключается к ЛЭП через коммутатор, который является связующим звеном между рефлектометром, ЛЭП и предлагаемом аппаратно-программным устройством (рис.4). Отраженный сигнал через коммутатор поступает на усилитель, коэффициент усиления которого корректируется по функциональной зависимости, обратной функции затухания сигнала в линии. Далее усиленный сигнал поступает в блок стабилизации амплитуды сигнала, который представляет собой устройство автоматической регулировки усиления (АРУ).

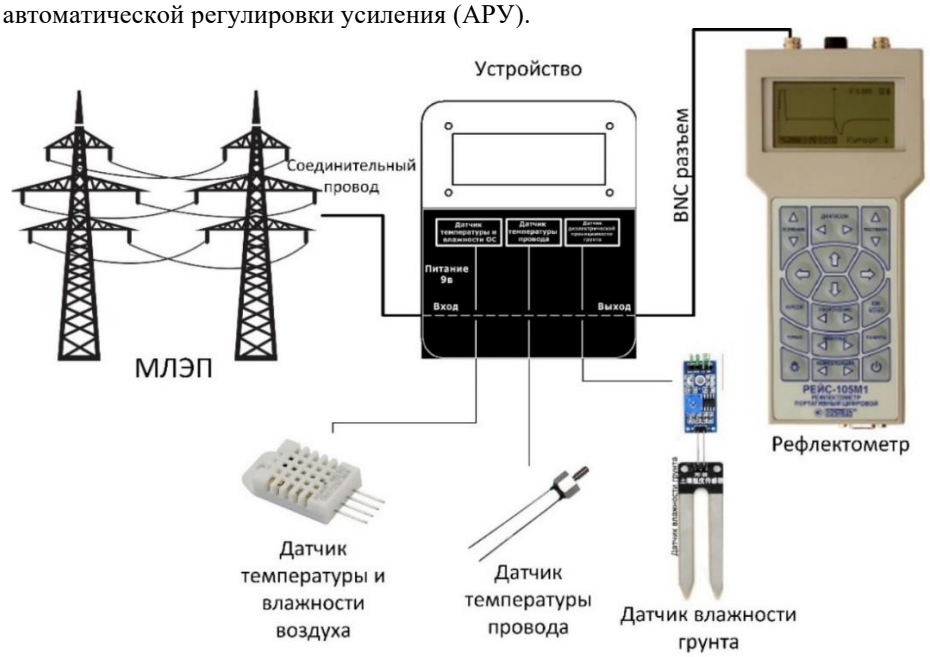


Рисунок 4 – Схема подключения ИИС к магистральной ЛЭП

Проведенные с помощью лабораторного оборудования экспериментальные исследования подтвердили достоверность предложенных методов автоматической коррекции погрешностей рефлектометра.

В результате работы связки разработанного устройства и рефлектометра РЕЙС-105М1 (рис. 5) было определено расстояние в ~17.2м, что соответствует действительной длине известной линии. 0.2м – это длина проводов коммутации устройство – линия. На рисунке 6 представлены показания рефлектометра, подключенного напрямую к линии, без использования разработанного устройства.

Показания рефлектометра, подключённого напрямую к линии, без разработанного устройства, составляют 16м, при известной длине линии в 17м.

С учетом вышеприведённых экспериментальных данных можно рассчитать относительную погрешность, которую удалось исключить при помощи введения разработанного устройства.

$$\delta = \frac{|x - x_n|}{|x_n|},$$

где x–истинное значение, x_n– приближенное значение.

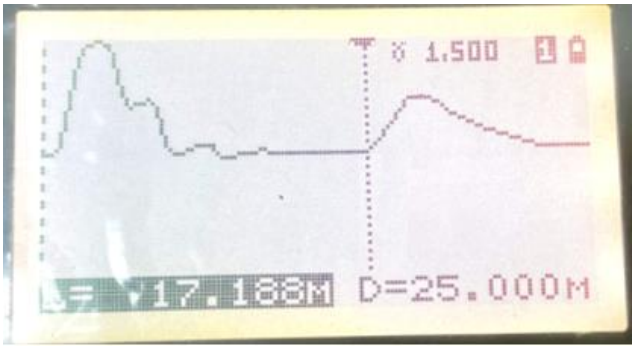


Рисунок 5 – Показания рефлектометра с использованием разработанного устройства

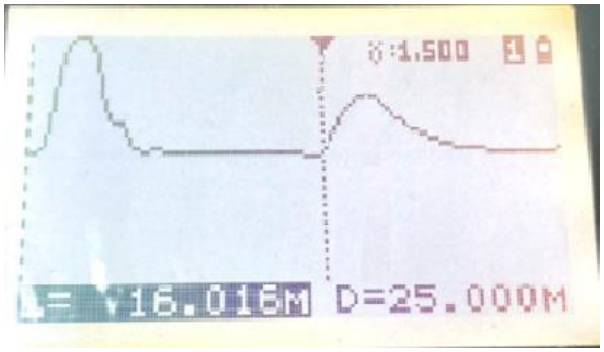


Рисунок 6 – Показания рефлектометра без использования разработанного устройства

Примем за истинное значение известное расстояние линии в 17м, а за приближенное значение - показания рефлектометра без использования разработанного устройства в 16м. Таким образом, погрешность рефлектометра составит δ=6,97%, которую удалось исключить при введении разработанного устройства.

В целях повышения достоверности проведенных измерений проведены многократные измерения, состоящие из ряда однократных измерений как с разработанным устройством, так и без него. Количество однократных измерении равно 30 итерациям.

Полученные результаты показывают, что плотность вероятности нормального распределения указывают на среднее значение относительной погрешности δ≈6,1%.

Заключение

В данной статье был представлен обзор исследований, посвященных повышению повышения достоверности локализации мест повреждения магистральных линий электропередач с использованием датчиков. Исследования показали, что интеграция датчиков в рефлектометр значительно улучшает его способность измерять и контролировать параметры линий электропередач.

Применение датчиков позволяет получать дополнительные данные о состоянии линий, такие как, проводимость линии, реактивное сопротивление линии, диэлектрическую проницаемость земли. Эти данные существенно улучшают точность измерений и помогают оперативно обнаруживать возможные неисправности и повреждения в линиях электропередач, что в свою очередь способствует повышению надежности, безопасности и эффективности энергетических систем.

Интеграция датчиков в рефлектометры может применяться в различных отраслях, включая энергетику, телекоммуникации и железнодорожный транспорт, где точность измерения и контроля линий электропередач является критически важной.

Представленная работа привлекает внимание к применению современных технологий и методов в области измерений и контроля линий электропередач. Она также подчеркивает важность проведения дальнейших исследований и разработок для создания более надежных и эффективных энергетических систем.

Таким образом, использование датчиков для повышения точности рефлектометра линий электропередач представляет собой перспективное направление исследований, с большим потенциалом для улучшения надежности и эффективности энергетических систем.

Литература

1. Авдеюк, Д.Н. Сокращение сроков восстановления электроснабжения энергопринимающих устройств при повреждениях на воздушных линиях электропередач / Д.Н. Авдеюк // Молодой ученый. - 2021. - № 48 (390). - С. 10-12.

2. Авдеюк, Д.Н. Анализ инструментальной погрешности рефлектометра для определения места повреждения воздушной линии электропередачи / А.А. Шилин, Над.С. Кузнецова, Д.Н. Авдеюк, В.А. Артюмаков // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. - 2022. - № 1 (38). - С. 21-23.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАРЯДА И РАЗРЯДА УПРАВЛЯЕМОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Белоусов А.В., Жилин Е.В.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Аннотация. В работе обосновывается актуальность применения управляемого накопителя электроэнергии в системах электроснабжения в роли дополнительного источника электрической энергии. В статье представлена структура управляемых накопителей электроэнергии, которая включает элементы, позволяющие контролировать процессы заряда и разряда. Для подтверждения эффективности системы управления накопителем было проведено имитационное моделирование с использованием программного комплекса Matlab/Simulink. Система управления состоянием заряда накопителя электроэнергии реализуется на базе DC-DC преобразователя, который обеспечивает двунаправленное преобразование энергии. Управление MOSFET транзисторами реализуется посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ), работу которой регулирует цифровой ПИ-регулятор тока. Проводится настройка ПИ-регуляторов системы управления накопителя электроэнергии, анализируются временные характеристики системы. Полученные результаты имитационного моделирования подтверждают эффективность и стабильность работы разработанной системы управления. Точность реакции на изменения в нагрузке, энергоэффективность и надежность работы системы подтверждают возможность успешного применения управляемых накопителей электроэнергии в современных энергетических системах.

Ключевые слова: накопитель электроэнергии, система управления, имитационное моделирование, энергоэффективность, ШИМ, ПИ-регулятор.

Study of the process of charging and discharge of controlled power storage. Belousov A.V., Zhilin E.V., Belgorod State Technological University after V.G. Shukhov

Annotation. The paper substantiates the relevance of using a controlled energy storage device in power supply systems as an additional source of electrical energy. The article presents the structure of controlled energy storage devices, which includes elements that allow you to control the processes of charge and discharge. To confirm the efficiency of the drive control system, simulation modeling was carried out using the Matlab/Simulink software package. The system for managing the state of charge of the energy storage device is implemented on the basis of a DC-DC converter, which provides bidirectional energy conversion. MOSFETs are controlled by pulse-width modulation (PWM), which is controlled by a digital PI current controller. The PI-controllers of the electric power storage control system are tuned, the time characteristics of the system are analyzed. The obtained results of simulation modeling confirm the efficiency and stability of the developed control system. The accuracy of response to changes in load, energy efficiency and reliability of the system confirm the possibility of successful use of controlled energy storage devices in modern energy systems.

Keywords: energy storage, control system, simulation, energy efficiency, PWM, PI controller.

Распределительные сети характеризуются большой протяжённостью, что вызывает необходимость подводить электроэнергию к значительному количеству электроприемников, рассредоточенных на большой территории. Кроме того, большинство распределительных сетей, находящихся в эксплуатации не рассчитаны на современный рост электрической нагрузки [1]. В результате этого наблюдаются большие потери мощности и напряжения в ветвях и отклонение напряжения от допустимых значений в узлах распределительной сети. Для повышения пропускной способности линий и напряжения в узлах, снижения дополнительных потерь мощности и повышения качества электроснабжения, предлагается использование накопителей электроэнергии (НЭЭ) [2-5].

Одной из главных проблем, которую решают НЭЭ, является неравномерность потребления электроэнергии в течение суток и времени года. Например, пиковые нагрузки, которые возникают в период пикового потребления, могут приводить к перегрузкам систем электроснабжения, что в свою очередь может вызывать аварии и отключения. Использование накопителей позволяет сгладить пиковые нагрузки, сохраняя избыток электроэнергии в периоды малой нагрузки, а затем использовать эту энергию в периоды пикового потребления [6].

Второй важной проблемой, которую решают накопители, является снижение зависимости от источников энергии, работающих на основе ископаемых топлив. Использование накопителей, работающих на основе возобновляемых источников энергии, таких как солнечная или ветровая энергия, позволяет сохранять и использовать производимую энергию, когда она не нужна, а затем использовать ее, когда производство энергии снижается.

Наконец, использование НЭЭ также позволяет увеличить эффективность систем электроснабжения, снижая потери энергии при передаче и распределении электроэнергии. Вместо того,

чтобы передавать электроэнергию из удаленных источников, где она производится, до удаленных потребителей, накопители позволяют сохранять энергию в более близких к потребителям точках, что снижает потери энергии при передаче. Они позволят не только повысить указанные показатели, но и обеспечить автономность работы отдельных узлов при выходе из строя узловых подстанции.

Система управления НЭЭ обычно состоит из нескольких компонентов, включая сам накопитель, инвертор, зарядное устройство и контроллер управления [7].

НЭЭ может иметь различную конструкцию и использовать различные технологии, такие как литий-ионные, свинцово-кислотные, графитовые, суперконденсаторы и т.д. Накопитель обычно имеет определенную емкость и напряжение, которые определяются требованиями к конкретной системе. Инвертор преобразует постоянный ток от накопителя в переменный ток, который может использоваться для питания бытовых и электротехнических устройств. Зарядное устройство заряжает накопитель от внешнего источника электропитания, например, от солнечных панелей или сети электроснабжения. Контроллер управления является центральным устройством системы управления НЭЭ. Он обычно состоит из микроконтроллера, датчиков, программируемой логики и соединительных интерфейсов. Контроллер собирает данные от датчиков о состоянии накопителя, управляет работой инвертора и зарядного устройства, а также принимает решения об оптимальном использовании накопителя в соответствии с требованиями системы.

Принцип работы системы управления НЭЭ заключается в том, чтобы максимизировать эффективность использования накопителя и обеспечить его надежную работу. Контроллер управления отслеживает состояние накопителя и определяет, когда его следует заряжать, а когда использовать сохраненную энергию. Он также может управлять потреблением энергии в системе, чтобы снизить пиковые нагрузки и улучшить качество электроснабжения. Например, если накопитель подключен к солнечным панелям, контроллер управления может определить, когда количество солнечного света максимально, и использовать этот период, чтобы зарядить накопитель. Затем, когда количество солнечного света уменьшается, контроллер может переключиться на сеть электроснабжения.

Однако возникает вопрос выбора оптимальной системы управления для отбора мощности и синхронизации с сетью. Для исследования процесса работы системы управления НЭЭ была разработана имитационная модель в программном комплексе Matlab/Simulink наиболее распространённой литий-ионной аккумуляторной батареей с литий-феррум-фосфатным положительным электродом. Система управления состоянием заряда управляемого накопителя электроэнергии реализуется на базе DC-DC преобразователя, который обеспечивает двунаправленное преобразование энергии. Управление MOSFET транзисторами реализуется посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ), работу которой регулирует цифровой ПИ-регулятор тока.

Управление зарядом НЭЭ реализуется с использованием полумостового преобразователя из постоянного тока в постоянный DC-DC на базе транзисторов MOSFET VT1, VT2 с обратными диодами VD1, VD2 и системы управления работой транзисторов с применением ШИМ. Применение двунаправленного преобразователя постоянного тока обусловлено значительным уменьшением размера, веса и стоимости системы с двунаправленным потоком энергии. Датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН) необходимы для осуществления контроля состояния заряда НЭЭ по току и напряжению. В качестве основного источника питания используется емкость C_0, напряжение источника питания составляет 48 В (рис. 1.).

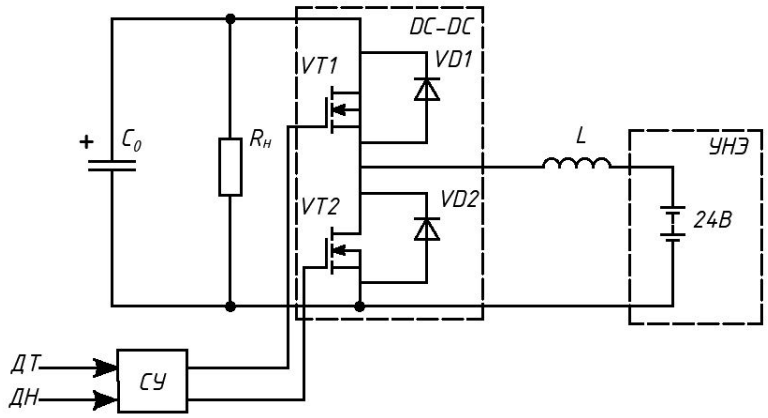


Рисунок 1 - Схема управления состоянием заряда НЭЭ

Для исследования процессов заряда и разряда НЭЭ была создана имитационная модель с использованием библиотеки элементов Matlab/Simulink (рис. 2) [8, 9].

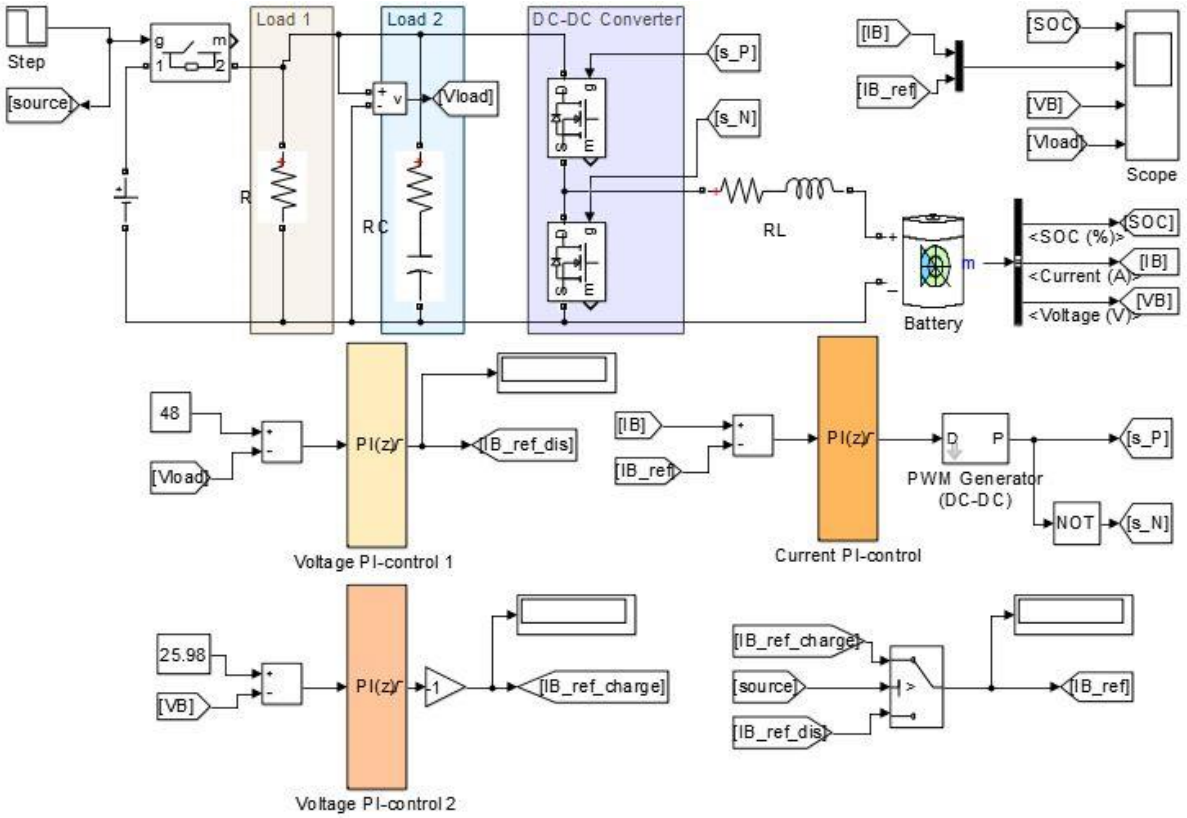


Рисунок 2 - Имитационная модель заряда и разряда НЭЭ

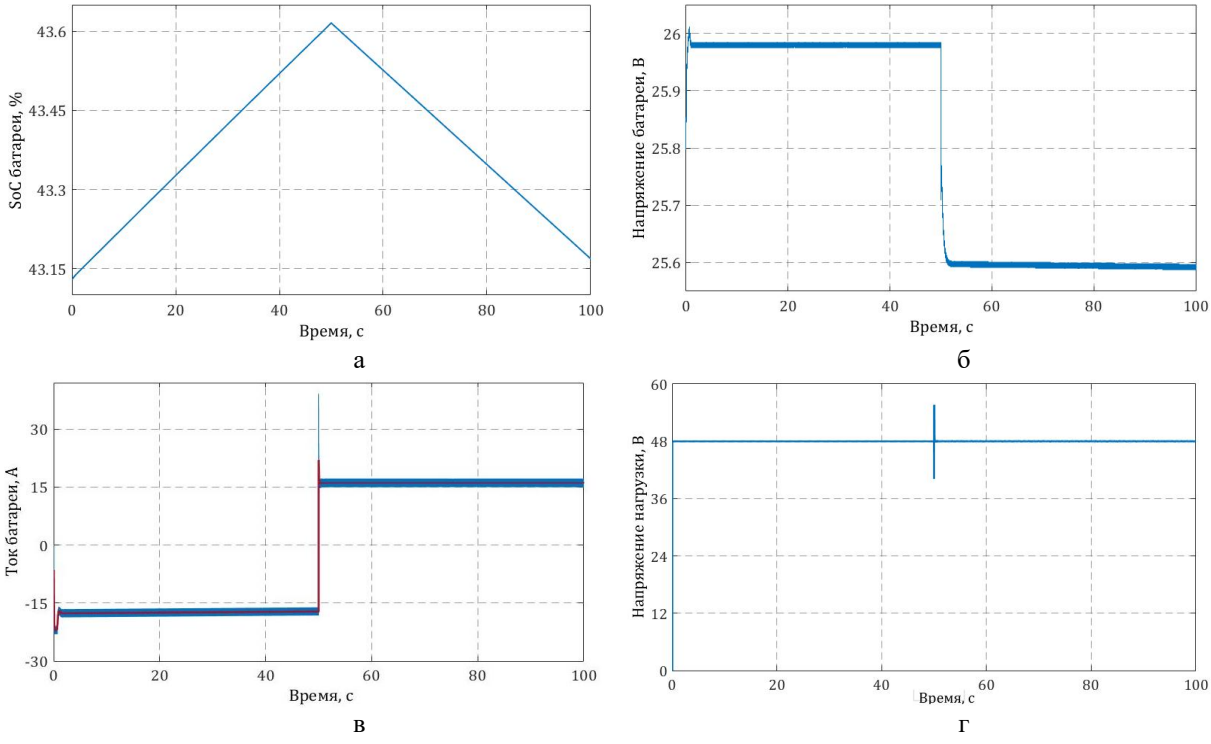


Рисунок 3 - Результаты имитационного моделирования процессов заряда и разряда с состоянием заряда батареи (а) при напряжении батареи (б), токе батареи (в) и напряжении нагрузки (г)

Имитационная модель реализует управление и контроль состояния заряда SoC, тока I_B и напряжения V_B батареи, представленной блоком *Battery*. Реальное значение тока I_B сравнивается с опорным значением I_{B_ref} и их ошибка рассогласования поступается на вход ПИ-регулятора тока, выход

которого управляет преобразователем DC-DC Converter посредством ШИМ. Для формирования опорного значения зарядного тока $I_{B_ref_charge}$ на входе ПИ-регулятора напряжения сравниваются реальное значение напряжения V_B и напряжение холостого хода (разомкнутой цепи) V_{OC} = 25,98 В, а выход контроллера инвертируется. Для формирования опорного значения разрядного тока $I_{B_ref_dis}$ на входе ПИ-регулятора напряжения сравниваются сигналы напряжения нагрузки V_{load} и напряжения источника питания V_0 = 48 Исследуемая модель работает на активную Load 1 и активно-емкостную Load 2 нагрузку. Результаты имитационного моделирования процессов заряда и разряда для моделирования продолжительностью t = 100 с приведены на рис. 3.

Как видно из результатов имитационного моделирования (рис. 3), в интервале времени t = 0 – 50 с на вход системы НЭЭ подается сигнал const = 1, нагрузка получает питание от источника постоянного напряжения, происходит заряд батареи. В процессе заряда НЭЭ пусковой ток не превышает максимально допустимого значения I_{ch_max} = 50 А и составляет I_{start} = 22 А. ПИ-регулятор напряжения обеспечивает поддержание напряжения батареи в пределах значения напряжения разомкнутой цепи, что позволяет осуществлять заряд накопителя при значениях напряжения $V_{SSM} = V_{OC}$ = 25,98 В и тока I_{SSM} =18 А. В момент времени t = 50 с сигнал управления меняется на const = 0, питание от источника более не поступает и начинается процесс разряда батареии, в процессе которого состояние заряда SoC уменьшается, при этом зарядный ток батареи остается положительным. Также можно заметить незначительно уменьшение уровня напряжения при разряде, однако это значение настолько мало, что не влияет на значение разрядного тока, который, в свою очередь, остается на уровне установившегося значения I_{SSM} = 18 А.

В данной работе было выполнено исследование процессов заряда и разряда НЭЭ с использованием системы управления с контролем состояния заряда на базе транзисторов с ШИМ-управлением и ПИ-регулированием. Результаты имитационного моделирования подтвердили возможность управления состоянием заряда SoC при установившихся значениях тока и напряжения, которые соответствуют техническим параметрам батарее. В дальнейшей работе планируется адаптировать НЭЭ к реальному объекту электроэнергетической сети.

Литература

1. Демиденко А. С., Шведов Г. В. Суточные графики электрических нагрузок многоквартирных домов в системах электроснабжения городов // Энергосбережение теория и практика: труды десятой международной школы-семинара молодых ученых и специалистов, Москва, 19–23 октября 2020 года. 2020. С. 123-127.

2. Обоснование структуры солнечно-дизельного комплекса распределенной генерации на основе нечетких множеств / М. А. Авербух, Е.В. Жилин, Е. Ю. Сизганова, М. В. Абдулваххаб // Промышленная энергетика. 2021. № 5. С. 45-52. DOI 10.34831/EP.2021.88.63.007

3. Извеков Е. А., Помогаев Ю.М. Анализ влияния режима электропотребления на снижение потерь электроэнергии в электрической сети с накопителем энергии // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12, № 2(61). С. 92-101. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.2.92.

4. Смоленцев Н. И., Четошникова Л. М. Топология электрической сети и способ передачи электрической энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21, № 4. С. 95-103. – DOI 10.30724/1998-9903-2019-21-4-95-103.

5. Оптимизация потерь электроэнергии в распределительных сетях с использованием алгоритма Dragonfly / А. А. Саухимов, О. Д. Баймаханов, А. Қ. Мурат, А. Т. Бектимиров // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2020. № 4(51). С. 6-15. DOI 10.51775/1999-9801_2020_51_4_6.

6. Salkuti S. R. Electrochemical batteries for smart grid applications // International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708). vol. 11, no. 3, pp. 1849-1856, Jun. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i3.pp1849-1856

7. Белоусов А.В., Жилин Е.В., Прасол Д.А. Анализ структуры и разработка имитационной модели системы накопления электроэнергии на основе литий-ионных аккумуляторных батарей // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2022. № 11. С. 57-63.

8. Жданкин Е. В., Устинов Д. А. Имитационное моделирование активной накопительной системы // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2018. Т. 18. №. 4. С. 52-58.

9. Новожилов М. А., Пионкевич В. А. Разработка и исследование математических моделей трехфазных мостовых выпрямителей и инверторов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. №. 3 (146). С. 553-574.

ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТРАЕКТОРИЯ: ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Болдырева М.А.
Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского,
г. Ростов-на-Дону

В работе проведен анализ разработки и внедрения индивидуальной образовательной траектории в сфере высшего образования в России. Рассмотрены основные внешние и внутренние вызовы модернизации сферы образования, а также предпосылки развития и становления индивидуального обучения, в том числе при получении высшего и профессионального образования. В работе подробно рассмотрены положительные аспекты от успешного внедрения и недостаточно проработанные элементы на различных этапах: от планирования до управления индивидуальной образовательной траекторией.
Ключевые слова: индивидуальная траектория, цифровизация образования, запросы личности

Individual educational trajectory: advantages and disadvantages. M.A. Boldyreva, Southern Federal University, Academy of Biology and Biotechnology by named Dmitry Ivanovsky, Rostov-on-Don

The study analyzes the development and implementation of individual educational trajectory in higher education in Russia. The main external and internal challenges of modernizing the education sector were considered, as well as the prerequisites for the development and formation of individual learning, including when receiving higher and professional education. In this work, the positive aspects of successful implementation and insufficiently developed elements individual educational trajectory at various stages were considered: from planning to management.
Key words: individual trajectory, digitalization of education, individual requests

Отвечая на запрос современных геополитических и социально-экономических вызовов развития российского образования, следует отметить начавшийся процесс преобразования педагогической системы на уровне высшего и профессионального образования. Такое реформирование должно быть в соответствии с запросами общества, рынка труда и самой личности. Основные требования со стороны общества направлены на развитие личности с креативностью, логическим и критическим мышлением, гибкостью принятия решений, рефлексией, свободной коммуникацией и пр. Рынок труда также претерпевает ряд изменений, в связи с цифровизацией, логистикой и новыми моделями управления, экологизацией и выдвигает новые профессии (Атлас новых профессий). В условиях постболонского этапа изменения должны быть в национально-ориентированном и суверенном направлении (Алешковский и соавт., 2023; Кузьминов, 2018). Запросы современной личности связаны в основном с индивидуальными потребностями, развитием гибких индивидуальных образовательных траекторий. В связи с вышеперечисленными позициями, важнейшими предпосылками модернизации сферы образования выступают:

- формирование индивидуального портфолио с развитием метакогнитивных навыков, таких как мобильность, гибкость, коммуникабельность, инициативность, ответственность, принятие решения в ситуациях неопределенности и многовариантности;
- наличие концепции непрерывного профессионального образования в течение всей жизни, которая обусловлена прогрессом науки и техники, применением инновационных технологий (LLL - Life Long Learning);
- гибкое личностно-ориентированное и адаптивное образование для обучающихся с особыми возможностями и потребностями (инклюзивная группа, талантливые и одаренные), как вариант перехода от ядерной модели образования к концепции свободного образования;
- возможность создания единой образовательной экосистемы или гринфилда для взаимодействия в континууме «вуз – студент – работодатель»;
- модульный принцип построения образовательных программ в соответствии с нормативными документами, в том числе №273 - ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (гл. 2, ст. 13, п. 3).

Тенденции цифровизации и глобализации, коснувшиеся сферы образования, отражаются в ряде актуализированных программ развития общества Российской Федерации («цифровая экономика», «искусственный интеллект» и пр.) и связаны с востребованностью развития индивидуального персонифицированного набора компетенций. Такой формат обучения может быть реализован посредством гибких индивидуальных образовательных траекторий. Ряд вузов, такие как НИУ ВШЭ, НИЯУ МИФИ, ТюмГУ, САФУ, ЮФУ, довольно успешно внедряют процесс индивидуализации образования.

Индивидуализация образовательных траекторий и цифровизация образовательного процесса являются связанными процессами и выступают важнейшими стратегическими ориентирами для высшего

образования российских и зарубежных вузов мира, что входит в концепцию развития Университета 3.0 и 4.0 (Штыхно и соавт., 2022; Конанчук, Волков, 2013).

Однако для построения и реализации обучения по индивидуальной траектории необходимы два однонаправленных запроса: потребность индивида и реализация со стороны образовательной системы. Потребность индивида также сопровождается процессами самоорганизации, саморегуляции, мотивации, способности, возможности и интереса личности. Координация со стороны образовательной системы заключается в организующей и контролирующей деятельности наставника/педагога, тьютора/менеджера. Кроме того, модулирующую функцию индивидуального портфолио навыков довольно успешно выполняет рынок труда или работодатель.

Успешная реализация и реализация в полном объеме своих потребностей в индивидуальной траектории обучения базируется на принципе академической свободы, который позволяет обучающимся выстроить персональный набор компетенций и квалификаций в том числе параллельно или дополнительно.

Следует подчеркнуть, что такой формат обучения неразрывно связан с развитием навигационных средств, инструментов (Зеер, Журлова, 2017), цифровых сервисов (Шухман и соавт., 2023; Калмыкова и соавт., 2023) и, как следствие, цифровых компетенций (Vuorikari er al., 2016; Стивен, 2020).

Обращаясь к истории, становится понятно, что индивидуальное обучение возникло довольно давно и в его основу были положены - технология личностно ориентированного обучения педагогической психологии в 90-е годы XX века (Е.В. Бондаревская, И.С. Якиманская, Н.А. Алексеев), а также идеи гуманистической психологии (Г. Олпорт, А. Маслоу, К. Роджерс, Р. Мэй). Однако, необходимо привести ряд определений индивидуальной траектории обучения и разграничить ее с индивидуальным маршрутом.

В своих трудах Е. В. Бондаревская (1991) описывает личностно-ориентированное образование, которое базируется на индивидуальности, уникальности и неповторимость каждой личности и неразрывно связано со способностью к самоизменению и культурному саморазвитию с целью самостоятельного решения жизненных проблем.

Аналогичная трактовка индивидуального подхода к образованию у И. С. Якиманской (2001). В своих работах она описывает траекторию психического развития ребенка по двум направлениям: приспособляемость (адаптивность) к требованиям и креативность.

А. В. Хуторской (2005) описывает индивидуальную образовательную траекторию как персональный путь реализации собственного потенциала обучающегося в ходе обучения.

В работах Т. М. Ковалевой с соавт. (2012) описывается индивидуализация образовательного процесса как способ обеспечения каждому обучающемуся его права и возможности на формирование собственных образовательных целей и задач для своего развития и в дальнейшем быть востребуемым в социуме.

О. А. Петрухина (2019) трактует индивидуальное обучение как «адаптацию учебного процесса», неразрывно связанную с содержанием, формами обучения, особенностями профессии с целью повышения эффективности и результативности обучения. Э. Ф. Зеером (1997) была разработана системная модель личностно-ориентированного профессионального образовательного пространства.

По мнению Н. Ю. Шапошниковой (2015) индивидуальная образовательная траектория представляет собой «индивидуальный путь в образовании, выстраиваемый и реализуемый субъектом образовательного процесса самостоятельно».

М. А. Гринько (2011) подчеркивает неразрывность связи образовательного процесса и воспитания и считает, что организация учебного процесса на основе индивидуальных устремлений станет базисом для основ индивидуально-творческого и профессионального развития личности.

Особую роль в ходе индивидуализации образования ряд авторов отводит педагогическому наставнику, для коррекции и реализации индивидуальных устремлений, выработку жизненных стратегий, формирование основ индивидуально-творческого и профессионального развития личности (Шапошникова, 2015; Лабунская, 2002).

Следует отметить, что в современной литературе на ряду с индивидуальной образовательной траекторией встречается понятие «индивидуальный образовательный маршрут».

Т. А. Тимошина (2010) отмечает, что понятие «индивидуальная образовательная траектория» тесно связано с понятием «индивидуальный образовательный маршрут». Различие, по ее мнению, состоит в том, что «траектория» определяется как «путь движения», а «маршрут» – как «заранее намеченный путь следования с указанием основных пунктов», и, соответственно, маршрут определяет как составную часть индивидуальной образовательной траектории.

Под индивидуальным образовательным маршрутом Р. У. Арифулиной и О. А. Катушенко (2021) понимается «целенаправленно проектируемая дифференцированная образовательная программа, обеспечивающая обучающемуся позиции субъекта выбора, разработки и реализации образовательной программы при осуществлении преподавателями педагогической поддержки его самоопределения и самореализации».

Н. А. Лабунская (2002) индивидуальный образовательный маршрут трактует как целенаправленно проектируемую дифференцированную образовательную программу, в которой необходимо самостоятельно проводить отбор для самоопределения и самореализации.

Указанные определения сводятся к тому, что образовательная траектория является инструментом реализации индивидуального образовательного маршрута, что подтверждается в исследовании Р. У. Арифулиной и О. А. Катушенко (2021).

По мнению А. Г. Фурина (2016), индивидуальная образовательная траектория представляет индивидуальный путь развития и реализации познавательных, творческих, коммуникативных способностей обучающегося, независимо от уровня общего и профессионального образования.

Следовательно, учитывая вышеперечисленные трактовки индивидуализацию образования следует считать, как организацию учебного процесса, при котором отмечается выбор способов, приемов, темпа обучения, учитывается индивидуальные различия учащихся, уровень развития их способностей к обучению. Индивидуальная образовательная траектория характеризуется содержанием образования, зависит от уровня подготовки, а результаты обучения должны быть сопоставимы с требованиями федеральных государственных или профессиональным стандартов.

Анализ трактовок индивидуализации образования выявил проблемное поле для дальнейших модернизаций образовательного ландшафта. Так индивидуальность образовательной траектории касается не только изменения структуры, но и логистики, управления образовательным процессом с учетом интересов, способностей обучающихся, запросов общества и работодателя, что способствует формированию персонального портфолио навыков и квалификаций.

На законодательном уровне индивидуальная образовательная траектория легализована (ст. 2, 34, 43 Федеральный закон от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации») и начинается с реализации индивидуального учебного плана. Однако процесс институционализации индивидуальной траектории обучения в настоящее время требует дополнительных перестроек, совершенствования учебно-методической и материальной базы, кадровой подготовки.

Принцип свободы выбора индивидуальной траектории подразумевает наличие осознанного выбора компонентов, средств своего обучения, а также целей, форм, задач, темпа, стиля, объема, оценки результатов, содержания, смысла и т. д. под контролем преподавателя (Ваганова и соавт., 2020). Многообразие образовательных программ и их постоянная трансформация создают основу для выбора образовательной траектории каждого студента исходя из его индивидуальных возможностей и запросов. Обучение, реализуемое посредством индивидуальной образовательной траектории, представляет определенную форму взаимодействия образовательной среды (преподавателя, платформы), работодателя и обучающегося.

Для модернизации системы образования, учитывающей индивидуальные потребности и запросы обучающихся необходимо создание образовательной среды или виртуального обучающего пространства с большим альтернативным выбором дисциплин, а также учета и перезачета набранных достижений.

Модернизация методологической составляющей образовательного процесса связана с использованием технологий индивидуализации обучения. Среди основных можно привести адаптивную систему с постепенным усложнением содержания А.С. Границкой, самостоятельную подготовку по И.Э. Унт, уровневый и дифференцированных подход с мотивацией обучающегося по В.Д. Шадрикову.

Особое внимание занимают платформы для дистанционного обучения внутренние закрытые (Moodle, Blackboard, Canvas) и внешние, реализующие массовые открытые онлайн-курсы МООК (Coursera, edX, FutureLearn, FUN, MiriadaX, Xuetang, «Открытое образование»), а также инструменты коммуникации (Wiki, MC Teams, Zoom, Discord т.д.).

Переход к персонализировано-результативному образовательному процессу в условиях цифровизации различных сфер деятельности сопряжен с развитием качественной автоматизированной платформы или сервиса для реализации конкурентоспособного учебного процесса. Опыт различных вузов позволил выделить несколько ключевых элементов в процессе цифровой трансформации современного образования (Индивидуальные образовательные…, 2023; Материалы Второй всероссийской ИОТ-конференции, 2022). Такой подход позволяет в реальном времени подстраивать образовательный процесс к индивидуальным характеристикам и потребностям обучающихся, что обеспечивает гибкость образовательного контента и приемов обучения (Калмыкова с соавт., 2023; Король, Воротницкий, 2022).

Однако, несмотря на активное внедрение обучения на основе индивидуальных маршрутов, можно выделить ряд его прогрессивных и противоречивых элементов (Лобова, Понькина, 2021; Головчин, 2021).

Среди положительных качеств можно выделить, во-первых, тенденцию глобальной трансформации образовательной организации с созданием цифровой инновационной экосистемы для сохранения конкурентных позиций на долгосрочный период. Например, модель «цифрового университета» (Голышкова, 2020) или «виртуальный университет» (Вишняков, Родзин, 2000). При этом ключевыми областями трансформации цифрового университета на пути к данной модели становится не

только образовательная программа, но и студенты, модели обучения и система управления (Giang et al., 2021).

Во-вторых, разработка нового формата обучения. Это позволит одновременно осваивать несколько направлений подготовки. Такая пересборка образовательной программы возможна под запросы бизнеса, общества или личности за счет увеличения гибкости учебного плана и вариативности дисциплин. Либо оптимизировать индивидуальную траекторию из нескольких уровней обучения («2+2+2» специалитет или интегрированная магистратура, «1+1+2» широкий бакалавриат, «4+2» бакалавриат и магистратура) (Наумкин и соавт., 2021; Сазонов, 2020; Алешковский и соавт., 2023) с целью формирования углубленной исследовательской или управленческой карьеры.

В-третьих, нелинейная форма организации учебного процесса с правом выбора дисциплин требует перехода на сервисы цифровой учебной аналитики, которые снижают расходы, в том числе трансакционных издержек для образовательного учреждения (Фурин, 2016). Кроме того, такие сервисы необходимы для накопления, текущей диагностики и планирования результатов освоения образовательного процесса (Шухман и соавт., 2021; Пашков, Пашкова, 2022). В условиях виртуальной мобильности наиболее востребованными являются технологий искусственного интеллекта, применяемые для автоматизированного педагогического мониторинга (Хаперская, Минин, 2021).

В-четвертых, повышение мотивации и увеличения роли сознательного самоопределения обучающихся (Крючкова, Храпов, 2022), взаимосвязь рынка труда и рынка образовательных услуг, повлияет на выбор или смену специальности подготовки в процессе обучения. Предполагается снижение оппортунистического поведения обучающихся при построении карьерного роста (Фурин, 2016).

В-пятых, рост качества образования за счет высокой конкуренции преподавателей и привлечения научных сотрудников и работодателей к образовательному процессу в модели открытого учебного плана и увеличения степеней свободы в принятии решения о выборе дисциплин в выстраивания индивидуальной траектории.

Однако, несмотря на довольно значимые и радужные перспективы модернизации образования в сторону индивидуализации и, как следствия, ее цифровизации, остается ряд недостаточно проработанных на текущий период элементов:

- недостаточность цифровых компетенций ряда преподавателей при работе с онлайн-платформами (Захарова и соавт., 2023), угроза преподавательской трудозанятости в связи с развитием онлайн-курсов, риск прекаризации преподавательского труда (Антюхова, Касаткин, 2021);
- «цифровой разрыв» из-за неравенства в доступе к цифровым инструментам для ряда обучающихся (Арифулина, Катушенко, 2021; Пашков, Пашкова, 2022);
- снижение значимости преподавателя и смещение баланса на оси «преподаватель - обучающийся» (Клячко, 2018);
- административные риски интеграции в учебный процесс онлайн курсов (рост конкуренции различных вузов, внешние контролирующие процедуры и верификация результатов образовательного процесса, изменение стоимости образовательных услуг) (Захарова и соавт., 2023);
- рост трудоемкости оперативного управления, логистики и администрирования процесса обучения (расписание, учебные планы и графики) (Фурин, 2016) и их интеграции в образовательный ландшафт (Лобова, Понькина, 2021);
- риски новых форм социальной изоляции и эмоциональной коммуникации обучающихся при получении цифровизированных услуг; формирование потребительского поколения «одной кнопки», легко управляемого конъюнктурой рынка (Бетелин, 2019; Жукова, 2016);
- рост академической инфляции вуза вследствие потери его культурного кода и универсальной ценности (Касаткин и соавт., 2019);
- нечувствительность мониторинговых алгоритмов оценивания результатов обучения к нюансам социального контекста и индивидуальным особенностям обучающихся, в т.ч. инклюзивным (Пашков, Пашкова, 2022);
- новые этические проблемы цифровизации образования (новые формы академического обмана в ходе обучения, долгосрочное воздействие на экологию и окружающую среду в ходе производства и эксплуатации электронных устройств) (Пашков, Пашкова, 2022), «обезличивание» учебного процесса, риски потерь накопленной «преподавательской ренты» (Рощина и соавт., 2018);
- разработка нормативно-правовых документов, регламентирующих сущность и логистику образовательного процесса и присвоения новых квалификаций и профессий, полученных в ходе гибкого обучения по индивидуальной траектории;
- своевременность и востребованность на рынке труда специалистов с новым набором сочетанных компетенций и персонального портфолио.

Таким образом, проведенный анализ модернизации сферы образования в ключе индивидуальной траектории обучения, показал наличие довольно продвинутых этапов реализации глобального проекта цифровизации и персонализации педагогического процесса. Однако наличие внешних вызовов требует

дальнейшего совершенствования внешних и внутренних механизмов на всех этапах развития: от планирования до управления.

Литература

1. Giang N.T.H., Hai P.T.T., Tu N.T.T., Tan P.X. Exploring the Readiness for Digital Transformation in a Higher Education Institution Towards Industrial Revolution 4.0 // International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP). 2021. Vol. 11. N. 2. P. 4–24.
2. Vuorikari R., Punie, Y., Carretero Gomez S. Van den Brande G. DigComp 2.0: The Digital Competence Framework for Citizens. Update Phase 1: The Conceptual Reference Model // Luxembourg Publication Office of the European Union. 2016.
3. Алешковский И.А., Гаспаришвили А.Т., Крухмалева О.В., Нарбут Н.П., Савина Н.Е. Особенности формирования образовательных траекторий российских студентов: оценка и возможности // Высшее образование в России. - 2023, Т. 32, № 4. - С. 137-155.
4. Антюхова Е.А., Касаткин П.И. Пандемическое тестирование устойчивости развивающихся трендов высшего образования // Мировая экономика и международные отношения. - 2021, том 65, № 2. - с. 125-133.
5. Арифулина Р.У., Катушенко О.А. Анализ отечественных и зарубежных трендов индивидуализации образовательного процесса в вузе: аналитический доклад // Вестник Мининского университета. - 2021. Том 9, №4. [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-otechestvennyh-i-zarubezhnyh-trendov-individualizatsii-obrazovatelnogo-protsessa-v-vuze-analiticheskiy-doklad (дата обращения: 04.06.2023).
6. Бетелин В.Б. Проблемы и перспективы образования в постиндустриальном информационном обществе // Вестник Российской академии наук. - 2019. Т. 89. № 6. - С. 582–592.
7. Бондаревская Е.В. Концепции личностно-ориентированного образования и целостная педагогическая теория // Шк.Духовности. - 1999, №5, с. 41-66.
8. Ваганова О.И., Павлова Е.С., Шагалова О.Г., Воронина И.Р. Технология индивидуализации обучения // Балтийский гуманитарный журнал. – 2020, Т. 9. № 2(31). – с. 209 – 211.
9. Вишняков Ю.М., Родзин С.И. Виртуальный университет: миф или реальность? // Известия Таганрогского государственного радиотехнического университета. 2000. № 2. С. 275–282. [Электронный ресурс]. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12854259 (дата обращения: 04.06.2023).
10. Вторая всероссийская ИОТ-конференция, посвященная индивидуальным образовательным траекториям. - 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://xn----jtbajdjvcdcys4a6a0k.xn--p1ai/ (дата обращения: 04.06.2023).
11. Головчин М.А. Институциональные ловушки цифровизации российского высшего образования // Высшее образование в России. 2021. Т. 30. № 3. С. 59-75.
12. Голышкова И.Н. Анализ ключевых составляющих модели «Цифровой университет» // E-Management. 2020. Т. 3. № 3. С. 53–61.
13. Гринько М. А. Проектирование индивидуальных траекторий обучения иностранному языку студентов педагогических вузов // Вестн. Адыгейск. гос. ун-та. Сер. 3: Педагогика и психология. - 2011. № 3. - С. 18–22.
14. Жукова Г.К. Сага о Форсайте, или Об идолах Global Education в российском образовании // Избранные аналитические материалы СПб РИАЦ Российского центра стратегических исследований. СПб.: Молодёжный дискуссионный клуб СПб РИАЦ РИСИ, 2016. С. 33–66.
15. Захарова У.С., Вилкова К.А., Абрамов Р.Н. Применение МООК в преподавании в российских вузах: почему нет роста спроса на них в условиях вынужденного перехода на дистанционное обучение? // Высшее образование в России. 2023. Т. 32. № 2. – с. 125 – 148. DOI: 10.31992/0869-3617-2023-32-2-125-148
16. Зеер Э.Ф., Журлова Е. Ю. Навигационные средства как инструменты сопровождения освоения компетенций в условиях реализации индивидуальной образовательной траектории // Образование и наука. - 2017, Том 19, № 3. – с. 77 – 93.
17. Зеер, Э. Ф. Личностно ориентированное профессиональное образование: теория и практика / Э. Ф. Зеер // Повышение академического уровня учебных заведений на основе новых образовательных технологий: тезисы докладов Российской научно-практической конференции по инновациям в профессиональном и профессионально-педагогическом образовании, 24-28 ноября 1997 г., г. Екатеринбург. В 3 ч. Ч. 1 / Урал. гос. проф.-пед. ун-т. - Екатеринбург: Издательство УГППУ, 1997. - С. 60-63.
18. Индивидуальные образовательные траектории в университете: ключевые точки внедрения. Опыт ТюмГУ [Электронный ресурс]. – URL: https://education.forbes.ru/special-projects/iot-main/iot-unmn (дата обращения: 04.06.2023).
19. Калмыкова С.В., Болсуновская М.В., Васильев В.В., Шошмина И.В. Разработка цифрового сервиса для персонализированного проектирования образовательных программ // Системный анализ в

проектировании и управлении. – 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tsifrovogo-servisa-dlya-personalizirovannogo-proektirovaniya-obrazovatelnyh-programm/viewer (дата обращения: 25.06.2023).

20. Клячко Т.Л. Цифровизация образования – надежды и риски // Вести образования. 2018. 26.02. [Электронный ресурс]. URL: https://vogazeta.ru/articles/2018/2/26/blog/2148-tsifrovizatsiya_obrazovaniya__nadezhdy_i_riski (дата обращения: 20.06.2023).

21. Ковалёва Т. М., Кобыща Е. И., Попова (Смолик) С. Ю., Теров А. А., Чередилина М. Ю. Профессия «тьютор». М. ; Тверь : СФК-офис, 2012.

22. Конанчук Д., Волков А. Эпоха «Гринфилда» в образовании // Исследование SEDeC. Центр образовательных разработок Московской школы управления СКОЛКОВО (SEDeC). 2013. 50 с.

23. Король А.Д., Воротницкий Ю.И. Цифровая трансформация образования и вызовы XXI века // Высшее образование в России. - 2022. Т. 31. № 6. - С. 48–61. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-6-48-61

24. Крючкова С.Е., Храпов С.А. Философия в современном университете: проблемы методики преподавания и перспективы в условиях новой образовательной модели «2+2+2» // Logos et Praxis. 2022. Т. 21, № 1. С. 43–53.

25. Кузьминов Я.И. Вызовы и перспективы развития университетов в России // Университетское управление: практика и анализ. - 2018. Т. 22, № 4 (116). - С. 5–8. [Электронный ресурс]. URL: https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/229026369 (дата обращения 08.06.2023).

26. Лабунская Н. А. Индивидуальный образовательный маршрут студента: подходы к раскрытию понятия // Изв. РГПУ им. А. И. Герцена. - 2002. № 3. - С. 79–90.

27. Лобова С.В., Понькина Е.В. Онлайн-курсы: принять нельзя игнорировать // Высшее образование в России. - 2021. Т. 30. № 1. - С. 23-35.

28. Наумкин Н.И., Агеев В.А., Садиева А.Э. Разработка модели создания индивидуальных образовательных траекторий в инженерном образовании // Интеграция образования. - 2021. Т. 25. № 3. - С. 513–531..

29. Пашков М.В., Пашкова В.М. Проблемы и риски цифровизации высшего образования // Высшее образование в России. - 2022. Т. 31. № 3. – с. 40 – 57.

30. Петрухина О.А. Возможности индивидуализации обучения студентов в образовательном процессе педагогического вуза // Наука о человеке: гуманитарные исследования. - 2019, №3(37). [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-individualizatsii-obucheniya-studentov-v-obrazovatelnom-protsesse-pedagogicheskogo-vuza (дата обращения: 18.06.2023).

31. Рощина Я.М., Рощин С.Ю., Рудаков В.Н. Спрос на массовые открытые онлайн-курсы (МООС): опыт российского образования // Вопросы образования. 2018. № 1. С. 174–199.

32. Сазонов Б.А. Организация образовательного процесса: возможности индивидуализации обучения // Высшее образование в России. - 2020. Т. 29. № 6. - С. 35–50. DOI: l0.31992/0869-3617-2019-29-6-35-50

33. Стивен Д. Искусственный интеллект в образовании: Изменение темпов обучения. Аналитическая записка ИИТО ЮНЕСКО // Институт ЮНЕСКО по информационным технологиям в образовании. 2020.

34. Тимошина Т. А. Концепция выстраивания индивидуальной образовательной траектории студента // Педагогика и психология как ресурс развития современного общества : сб. ст. 2-й Междунар. науч.-рак. кон. (Рязань, 7–9 окт. 2010 г.). Рязань, 2010. С. 315–320.

35. Фурин А.Г. Сущность индивидуальной образовательной траектории: институциональный аспект // Общество: политика, экономика, право. – 2016. [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-individualnoy-obrazovatelnoy-traektorii-institutsionalnyy-aspekt (дата обращения: 25.06.2023).

36. Хаперская А.В., Минин М.Г. Электронная обучающая платформа и педагогический мониторинг в условиях цифровой трансформации // Высшее образование в России. 2021. Т. 30. № 4. С. 131-138.

37. Хуторской А. В. Методика личностно-ориентированного обучения. Как обучать всех по-разному? Москва: ВЛАДОС-ПРЕСС, 2005. 383 с.

38. Шапошникова Н. Ю. Индивидуальная образовательная траектория студента: анализ трактовок понятия // Педагогическое образование в России. – 2015, № 5. – с. 39-44.

39. Штыхно Д.А., Константинова Л.В., Гагиев Н.Н., Смирнова Е.А., Никонова О.Д. Трансформация моделей университетов: анализ стратегий развития вузов мира // Высшее образование в России. - 2022. Т. 31. № 6. - С. 27–47. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-6-27-47

40. Шухман А.Е., Парфенов Д.И., Легашев Л.В., Гришина Л.С. Анализ и прогнозирование успеваемости обучающихся при использовании цифровой образовательной среды // Высшее образование в России. 2021. Т. 30. № 8-9. С. 125-133.

41. Якиманская И.С Построение модели личностно-ориентированного обучения. Под научной ред. – М.:КСП+, 2001. – 128 с.

ИНДУКЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ПЕРЕПЛАВКИ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВАРИАНТЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Макаричев Ю.А., Полянский Е.А.
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
makarichev2801@mail.ru sgespea@mail.ru

Аннотация: В работе рассмотрены пути совершенствование индукционного комплекса переплавки отходов алюминиевого производства АО «Самарский металлургический завод» связанные с повышением надежности, энергоэффективности комплекса в целом, минимизацией затрат на ремонт оборудования и сведения к минимуму простоев литейного производства.

Ключевые слова: индукционный комплекс, индуктор, печной трансформатор, схема управления, коммутация, регулирование под нагрузкой, тиристоры, человеческий фактор, автоматика управления, программное обеспечение.

Induction melting complex for melting aluminum production waste. Current problems and options for their solutions. Makarichev Y.A. doctor of Technical Sciences, E.A. Polyansky, graduate student, Samara State Technical Universityr Samara, Russia

Abstract: The paper considers ways to improve the induction complex for remelting aluminum production wastes of Samara Metallurgical Plant JSC associated with increasing the reliability, energy efficiency of the complex as a whole, minimizing the cost of equipment repair and minimizing downtime of the foundry.

Key words: induction complex, inductor, furnace transformer, control circuit, switching, regulation under load, thyristors, human factor, control automation, software.

Описание индукционного комплекса

АО «СМЗ» (Самарский металлургический завод) один из крупнейших производителей алюминиевых полуфабрикатов в Евразии. Основной продукцией АО «СМЗ» является прокат в виде алюминиевой полосы, элементов алюминиевой банки, алюминиевых плит и прессовая продукция в виде алюминиевых профилей, алюминиевых труб. Неотъемлемой частью производства являются алюминиевые отходы. От повторного использования алюминиевых отходов зависит себестоимость продукции в целом. Отходы алюминиевого производства представляют собой обрезки полосы проката, обрезки плит, остатки от прессования, алюминиевая стружка, брак (далее – шихта). Шихта разделена по сортам.

Для переплавки шихты применяется специальная, индукционная технология. На АО «СМЗ» используется индукционные комплексы промышленной частоты ИАТ-6 с максимальной загрузкой до 6 тонн шихты. Комплекс состоит из следующих основных частей:

- индуктора, в котором непосредственно происходит процесс индукционной плавки;
- схемы питания индуктора, состоящей из распределительного устройства 10 кВ, вакуумного выключателя, устройств защиты и автоматики управления вакуумным выключателем, управляемым дистанционно;
- специального печного трансформатора типа ЭОМН-2700/10-73У3 с переключающим устройством регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) типа РНО-23-625/10, управляемым дистанционно;
- системы компенсации реактивной мощности, состоящие из блоков конденсаторов, контакторов, схемы управления контакторами;
- схемы управления работой индукционного комплекса;
- системы контроля изоляции индукционного комплекса;
- система охлаждения индуктора;
- вспомогательных систем и устройств.

Принцип действия индукционного комплекса

Работа индукционного комплекса начинается с загрузки шихты в индуктор. Шихта загружается в индуктор партиями. После загрузки первой партии шихты плавильщик, управляющий процессом плавки, находящийся в непосредственной близости с индуктором, включает все системы и устройства, проверяет их работоспособность, обращая внимание на готовность и отсутствие запретов в схеме управления. Дистанционным включением вакуумного выключателя в распределительном устройстве 10 кВ подается напряжение на индуктор через специальный печной трансформатор. Плавильщик начинает плавку шихты в индукторе переводя положения РПН трансформатора от большего положения (меньшего напряжения) к

меньшему положению (большее напряжение), руководствуясь показаниями приборов и инструкцией [1]. Специальный печной трансформатор по своей конструкции имеет 17 положений (ступеней) РПН. На первом положении уровень напряжения составляет 1054 В, на 17 положении уровень напряжения составляет 210 В. Такая регулировка, порядка 52-54 В на ступень, возможна из-за конструкции самого трансформатора и устройства РПН типа РНО-23-625/10. Рабочая обмотка высокого напряжения подключается устройством РПН к обмотке регулирования на которой выполнены ответвления, тем самым меняя коэффициент трансформации и, как следствие напряжение на стороне низкого напряжения. В процессе работы комплекса плавильщик, руководствуясь показаниями ваттметра и фазометра, подключенные через измерительные трансформаторы в распределительном устройстве 10 кВ, дистанционно включает и отключает контакторы в системе компенсации реактивной мощности. Контакторы подключают группы конденсаторов на шинах низкого напряжения. Этим компенсируется реактивная мощность, поддерживая коэффициент мощности (cos φ) близкий к единице. Общая компенсируемая мощность составляет 10800 квар. По мере расплавления и «оседания» первой партии шихты добавляются следующие партии. Так происходит до полной, номинальной загрузки индуктора. После окончания процесса плавки плавильщик дистанционно отключает вакуумный выключатель 10 кВ, тем самым обесточивая трансформатор и индуктор. Индуктор наклоняется для слива, расплав сливается в формы слитков, оставляя небольшое количество расплава, «болота», для начала плавки новой партии шихты. Далее слитки направляются в литейное производство для повторного использования. Загружается новые партии шихты. Процесс плавки повторяется. Плавки выполняются круглосуточно.

Проблемы индукционного комплекса.

1.Специальный печной трансформатор

Специальный печной трансформатор с напряжением со стороны высокого напряжения – 10 кВ и регулируемым напряжением со стороны низкого напряжения от 210 до 1054 вольт, предназначен для питания индуктора печи в процессе фазовых переходов при плавке алюминия. Такой большой диапазон регулировки напряжения на индукторе необходим, так как физические свойства (активное, индуктивное сопротивление расплава и его термодинамические параметры) постоянно изменяются в процессе плавки, что требует изменения питающего напряжения и фазы тока в катушках индуктора. В описываемой установке этот процесс выполняет плавильщик посредством переключения устройства РПН в ручном режиме.

Устройство РПН – одно из наименее надежных узлов специального печного трансформатора. Особенность устройства РПН заключается в том, что ступенчатая регулировка напряжения должна выполняться без разрыва цепи тока обмотки трансформатора и без закорачивания витков [3], пусть даже кратковременного. Для этого разработаны специальные схемы коммутации устройства РПН, включающие следующие основные конструктивные элементы:

- избиратель ответвлений, контакты которого размыкают и замыкают ветви цепи без тока;
- контакторы, размыкающие и замыкающие ветви цепи рабочим током;
- токоограничивающий реактор или резисторы;
- приводной механизм.

Приводной механизм устройства РПН – это электромеханическое устройство, которое состоит из асинхронного электродвигателя, редуктора и схемы управления.

Устройство РПН совместно с контактами располагается в отдельном баке, наполненном трансформаторным маслом. Бак устройства РПН не связан с баком трансформатора, где расположено ярмо с первичной и вторичной обмотками. При переключениях под нагрузкой на контактах происходят переходные процессы, связанные с образованием дуги, что приводит к их интенсивному износу. Хотя контакты и предназначены для многократной коммутации, сроки службы их невелики.

Устройство РПН постоянно находится в работе. Плавильщик постоянно выполняет переключения, выводя индуктор на оптимальный режим работы. В таком режиме устройство РПН печного трансформатора наиболее подвержено износу. При неисправности РПН и выходе его из строя индуктор выводится из работы, производство несет убытки.

2. Схема управления работой и контроля индукционного комплекса

Схема управления индукционным комплексом — это совокупность электромеханических переключающих устройств, релейных схем, схем управления, систем контроля, сигнализации и т.д. Устройства постоянно находятся в работе. Агрессивная атмосфера в литейных цехах негативно влияет на условия работы электромеханических устройств в целом. Надежность электромеханических устройств невысока, даже при небольших межремонтных интервалах. Устройства часто выходят из строя. Требуется срочный внеплановый ремонт. Необходимо держать аварийный запас электромеханических устройств.

3. Человеческий фактор

Работой индукционного комплекса управляет плавильщик, находясь в непосредственной близости к индуктору. Высокая температура, шум, вибрации, загазованность рабочего места отрицательно сказываются на ответственной и сложной работе плавильщика. Вероятность ошибок, которые могут повлиять на технологический процесс плавки и на исправное функционирование комплекса возрастает особенно в ночные смены.

Варианты решения проблем индукционного комплекса

Повысить надежность и энергоэффективность печного трансформатора позволит применение полупроводниковой технологии – переключающих ключей (тиристоров) [2]. Переключающие ключи – применимы для замены всех контактов устройства РПН и приводного механизма. Вместо механической схемы управления контакторов и приводного механизма устройства РПН возможно применение тиристоров [4] со схемой управления – тиристорный РПН. Тиристоры (группы тиристоров) подключаются к ответвлениям обмотки регулирования и к началу рабочей обмотки ВН. Переключающие ключи управляются (открываются и закрываются) соответствующей схемой управления, интегрированной в работу комплекса. Это позволит решить сразу несколько проблем индукционного комплекса:

- отсутствие контактов и отсутствие привода в устройстве РПН значительно повысит надежность печного трансформатора в целом;
- повышается быстродействие переключения ответвлений обмотки регулирования;
- увеличиваются межремонтные интервалы печного трансформатора, и как следствие снижаются затраты на ремонт.

Для повышения энергоэффективности и надежности индукционного комплекса предлагается вариант перевода схемы управления и контроля индукционного комплекса на автоматику управления и контроля [5]. Автоматика управления может быть выполнена с применением микропроцессорной технологии, микропроцессорного устройства. Микропроцессорное устройство с определенным программным обеспечением берет на себя функции по автоматизированному управлению процессом плавки. Описание работы. Плавильщик загружает шихту в индуктор и запускает процесс плавки микропроцессорным устройством. Устройство собирает сигналы со всех систем, устройств и в случае отсутствия запретов запускает процесс плавки. Далее процесс плавки происходит автоматически. В процессе плавки устройство контролирует температуру расплава, управляя тиристорным РПН. Так же в процессе плавки устройство контролирует фазы, подключая группы конденсаторов. Оптимальные режимы работы комплекса – оптимальный cos φ, напряжение на индукторе, температура расплава, температура и давление охлаждающей воды и т.д. При правильно настроенной программе плавки возможно повышение энергоэффективности и поддержание качества расплава на высоком уровне.

Применение автоматики позволит так же вывести плавильщика из не экологичной и опасной зоны проведения работ.

На рисунке 1 показана предлагаемая структурная схема реализации индукционного комплекса плавки алюминиевых отходов с использованием микропроцессорного устройства автоматизированной технологии регулирования процесса.

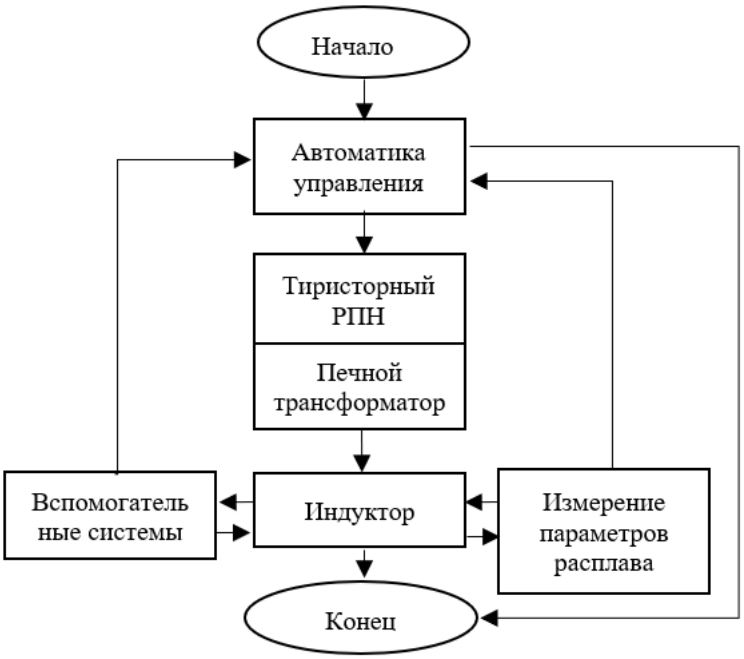


Рисунок 1 - Структурная схема индукционного комплекса.

Литература

1. Инструкция по эксплуатации «Эксплуатация и обслуживание индукционных печей ИАТ». ИЭ 01-000-2021. АО «Арконик СМЗ», 2021.- 38с.
2. Устройство регулирования напряжения преобразовательных трансформаторов под нагрузкой: учеб. пособие /Б.А. Аржанников. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017.- 101 с.
3. А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др. Электрическая часть станций и подстанций: Учеб. для вузов; Под ред. А.А Васильева, - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990.-576 с и ил.
4. Мартыненко В., Гришанин А., Самойлов А., Вельмискина О., Сергунина Т., Картаев В.. Разработка и исследование мощного низкочастотного тиристора с блокирующим напряжением 10 кВ.// Силовая электроника. 2016. №2. С 22-26.
5. Индукционные тигельные печи: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Л.И. Иванова, Л.С. Гробова, Б.А. Сокунов, С.Ф. Сарапулов. Екатеринбург: Изд-во УГТУ - УПИ, 2002. 87 с.

ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С РЕЗЕРВНЫМ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОМ

Саушев А. В., Широков Н. В.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»

Статья посвящена рассмотрению метода предупредительного управления судовой электроэнергетической системой, предполагающей запуск аварийного дизель-генератора по команде от специально разработанного устройства. Метод обеспечивает надежную и безопасную работу системы в случаях выхода ее контролируемых параметров за допустимые пределы, а также при непредусмотренных инструкциями значениях внешних, возмущающих воздействий. Предлагаемый подход заключается в переводе системы в частично неработоспособное состояние, при котором она способна обеспечить электроэнергией наиболее важные потребители, работоспособность которых гарантирует безопасность судна и членов экипажа.

Ключевые слова: судовая электроэнергетическая система, аварийный дизель-генератор, превентивный запуск, предупредительное управление.

Predictive management of the ship's electrical power system with a standby diesel generator. 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 consideration of the method of preventive control of the ship's electric power system, involving the launch of an emergency diesel generator on command from a specially designed device. The method ensures reliable and safe operation of the system in cases when its controlled parameters exceed the permissible limits, as well as when the values of external, disturbing influences are not provided for by the instructions. The proposed approach is to transfer the system to a partially inoperable state, in which it is able to provide electricity to the most important consumers, whose operability guarantees the safety of the vessel and crew members.

Key words: ship electric power system, emergency diesel generator, preventive start, preventive control.

Аварийный режим работы любой электроэнергетической системы обычно приводит к перерыву в электроснабжении потребителей электрической энергии, затратами на ликвидацию аварийной ситуации и ее последствий, а также к возможным сопутствующим затратам и угрозе здоровью и жизни обслуживающего персонала. Одним из основных способов снижения негативных последствий выхода из строя основных источников электроэнергии является применение резервирования, при котором устанавливаются аварийные источники электроэнергии, которые начинают работать в момент исчезновения напряжения в сети. В качестве таких источников в судовых электроэнергетических системах (СЭЭС) обычно применяются аварийные дизель-генераторные установки (АДГ).

Анализ показывает, что ускоренный запуск АДГ СЭЭС осуществляется, как правило, в сложных условиях, которые характеризуются перепадами температуры, механическими усилиями, повышенной вязкостью смазочных материалов, шлакообразованием в двигателях внутреннего сгорания. Перечисленные факторы заметно снижает показатели надежности АДГ. Следует также отметить, время запуска АДГ имеет определенную продолжительность. При этом потребители электрической энергии будут обесточены. Таким образом, актуальны разработки, направленные на реализацию предупредительного управления (ПУ), целью которого является исключение обесточивания СЭЭС [1–3], включая превентивный запуск АДГ [4]. ПУ предполагает, что запуск АДГ производится до начала

наступления нештатной работы СЭЭС. При этом СЭЭС продолжает снабжать электроэнергией все потребители судна.

ПУ осуществляется в двух основных случаях: при срабатывании аппаратов защиты и при появлении сигнала от системы управления о выходе контролируемых параметров СЭЭС за допустимые пределы. Выход контролируемых параметров за допустимые пределы происходит в случае потери системой работоспособного состояния, которое в полной мере характеризуется областью работоспособности *G*. Эта область задается в пространстве внутренних (первичных) параметров **X** СЭЭС. Первичными параметрами могут быть параметры элементов системы и геометрические размеры ее элементов, определяющие ее функциональные свойства. Известные способы построения и задания области работоспособности изложены в работе [5]. Область работоспособности позволяет контролировать состояние СЭЭС по так называемым зависимым допускам, что гарантирует высокую достоверность контроля. Такой подход позволяет значительно снизить методическую погрешность контроля, которая резко, нелинейно увеличивается с ростом размерности пространства контролируемых параметров. В докладе приводится оценка этой погрешности. Показано, что она резко возрастает в функции числа контролируемых параметров.

В работе [1] установлено, что при предупредительном управлении отображающая точка *S*(**X**), характеризующая состояние системы в пространстве первичных параметров, будет принадлежать усеченной области правильного функционирования w_j^q. Данной области будет соответствовать *j*-й режим работы СЭЭС, который соответствует включенному состоянию АДГ. Запуск АДГ производится до момента выхода СЭЭС в аварийный режим работы при помощи специальных управляющих сигналов. Эти сигналы выдаются системой управления при высокой вероятности исчезновения напряжения на шинах главного распределительного щита (ГРЩ). Анализ показывает, что обесточивание СЭЭС обычно случается при отказе ее элементов, ошибочных действий обслуживающего персонала, нештатных внешних, возмущающих воздействий, которые приводят к потере работоспособности генераторного агрегата (ГА) и его невозможности выполнять возложенные на него функции.

На большинстве современных судов с целью повышения живучести и безопасности судна не допускается параллельная работа ГА основной электростанции и АДГ. Следуя работе [2], в составе СЭЭС выделим две автономные генерирующие системы. Первая из них (АГС1) состоит из параллельно работающих штатных ГА. Вторая (АГС2) состоит из АДГ и предназначена для питания ответственных потребителей судна при исчезновении напряжения на шинах ГРЩ. АГС2 начинает функционировать только при потере работоспособности АГС1. Отсюда следует, что важным условием является непрерывный контроль технического состояния АГС1, выход из строя которой может привести к обесточиванию судна.

На основании работы [6] можно сделать вывод, что АГС1 перейдет в неработоспособное состояние в том случае, если отображающая точка *S*(**X**) выйдет за пределы области работоспособного функционирования *H*. При этом

$$H = D_z \rceil M_y \rceil M_u, \tag{1}$$

где D_z — допусковая область выходных параметров функциональных блоков АГС1 ($\overline{Z}$), соответствующая внутреннему условию работоспособности; M_y — область, характеризующая внешние условия работоспособности рассматриваемой системы и представляющая собой отображение выходных параметров АГС1 ($\overline{Y}$) в пространство параметров ($\overline{Z}$); M_u — область, характеризующая пространство управляющих воздействий (представляет собой отображение пространства управляющих сигналов ($\overline{U}$) в пространство выходных параметров ($\overline{Z}$) функциональных блоков системы. Допусковая область *H* отличается от области работоспособности тем, что она дополнительно учитывает значения управляющих параметров АГС1. При выходе этих параметров за допустимые пределы АГС1 становится неработоспособной. Область M_u характеризует наличие управляющих сигналов АГС1, которые во всех возможных режимах работы находятся в допустимых пределах. Такими сигналами являются заданные параметры напряжения сети и переменная величина нагрузки.

Система ПУ должна обеспечить такое воздействие на АГС1, чтобы в случае отказа хотя бы одного из ее элементов и срабатывания защиты ее первичные параметры, определяющие отображающую точку *S*(**X**), принадлежали усеченной области правильного функционирования w_i^q. Эта область характеризует *i*-й режим работы системы, при котором мощность оставшихся работоспособными ГА соответствует нагрузке сети. При этом

$$H = \bigcup_{i=1}^{q} w_i^q, \quad q = \overline{1, n}, \tag{2}$$

где w_i^q — усеченная область правильного функционирования, которая соответствует *i*-му режиму работы АГС1; *n* — число возможных режимов работы АГС1.

На основании работы [3], условие безаварийной работы СЭЭС при отказе ее элементов можно записать в виде следующего условия:

$$S(\overline{X}) \mathrm{O} w_i^q = D_z^q \mathbf{I} M_y^q \mathbf{I} M_u^q, \quad i = \overline{1, q}, \tag{3}$$

где $D_z^q \mathrm{O} D_z$; $M_y^q \mathrm{O} M_y$; $M_u^q \mathrm{O} M_u$.

Рассмотрим самый распространенный на практике случай, когда ГА в составе АГС имеют одинаковую мощность. При этом число возможных режимов функционирования *p*, определяющее число отключаемых ГА [8], будет равно числу ГА, т. е. *n*=*p*. При выходе из строя одного или нескольких работающих ГА область правильного функционирования, которой должна соответствовать отображающая точка *S*(**X**), можно записать в виде $w_{i\text{-}p}^q$. При этом условие безаварийной работы СЭЭС будет определяться выражением

$$S(\overline{X}) \mathrm{O} w_{i\text{-}p}^q. \tag{4}$$

Если условия (3), (4) не выполняются, то следует отключить от сети менее ответственные потребители электрической энергии. Состав таких потребителей следует определять заранее.

Разгрузка СЭЭС до момента отключения от сети вышедшего из строя ГА должна гарантированно предотвратить перегрузку исправных агрегатов и обесточивание судна. При этом следует иметь в виду, что возможны ситуации, при которых технически невозможно отключить требуемое число потребителей с целью исключения перегрузки ГА. Запуск резервного агрегата, имеющего большую мощность по сравнению с АДГ и, как следствие, увеличение длительности реконфигурации СЭЭС может не дать положительного эффекта в случае отказа ГА.

В этом случае, одновременно с запуском резервной машины следует запустить АДГ, время запуска которого существенно меньше времени пуска резервной машины. Включенный в работу АДГ позволит обеспечить электроэнергией ответственные потребители СЭЭС.

Важное значение при решении поставленной задачи имеет формирование и распознавание предупредительного сигнала, под которым будем понимать любую информацию о выходе за заданные пределы параметра Z_k любого из *k* работающих в составе АГС1 ГА [1]. Если, например, температура охлаждающей воды дизеля ГА достигнет значения 95°С, то в системе аварийно-предупредительной сигнализации появится предупредительный сигнал о превышении данным параметром допустимых пределов и ГА перейдет в неработоспособное состояние. Вместе с тем, он будет продолжать вырабатывать электроэнергию с заданными показателями качества до тех пор, пока температура охлаждающей воды не достигнет предельного значения, равного 98°С. При достижении этой температуры формируется аварийный сигнал, который приводит к срабатыванию защиты и отключению ГА от сети, что приводит к снижению генерирующей способности АГС1. Заметим, что в рассматриваемой ситуации в качестве предупредительного сигнала системы предупредительного управления (СПУ) можно выбрать сигнал аварийно-предупредительной сигнализации, который формируется, например, при выходе за допустимые пределы температуры охлаждающей жидкости или давления смазочного масла. Заметим, что такой подход возможен не при всех неисправностях [9]. В докладе на конкретных примерах раскрывается суть проблемы и предлагается специально синтезированная функция, которая может быть использована в качестве предупредительного сигнала во всех возможных режимах и условиях эксплуатации СЭЭС. При этом учитываются и возможные ошибочные действия экипажа судна, которые подробно рассматриваются в работе [8].

В самом общем случае следует также рассматривать внешние условия функционирования СЭЭС, которые характеризуются контролируемыми параметрами $\overline{V} = (v_1, ..., v_r, ..., v_s)$. К ним, например, относятся температура, относительная влажность, уровень вибрации, характеристики топлива для двигателя внутреннего сгорания и его количество, показатели смазочного и тормозного масла, уровень кислорода в воздухе, подаваемом в первичный двигатель. Эти параметры оказывают существенное влияние на показатели качества ГА и в целом на АГС1.

Выражение, определяющее область *H* работоспособного функционирования СЭЭС, можно расширить и представить в следующем виде:

$$H = D_z \mathbf{I} M_y \mathbf{I} M_u \mathbf{I} M_v, \tag{6}$$

где M_v — допусковая область, определяющая внешние воздействия на СЭЭС; и представляющая собой отображение области D_v внешних параметров $\overline{V}$ в пространство M_v выходных параметров $\overline{Z}$ элементов системы.

Область *H* может иметь сложную конфигурацию. В этой связи наибольший интерес для предупредительного управления представляет использование понятие кластера дефектов, под которым,

согласно работе [6], понимают совокупность дефектов, приводящих к строго определенному признаку неработоспособного состояния элемента СЭЭС и определяющих заданное, заранее сформированное управляющее воздействие на систему. При таком подходе важен сам результат, а не причина, по которой этот результат был реализован. Например, для одиночно работающего ГА неважно по какой причине произошел перегрев двигателя – прекратилась подача забортной воды в систему охлаждения, вышла из строя холодильная камера или температура окружающей среды превысила допустимое значение. В любом случае система ПУ СЭЭС должно сформировать команду на разгрузку сети и превентивный запуск АДГ. Функционирование СПУ в случае возникновения пожара рассмотрена в работе [4].

Таким образом, в случае появления угрозы обесточивания судна производится запуск АДГ и в момент исчезновения напряжения на шинах ГРЩ осуществляется оперативный переход питания ответственных потребителей судна от АГС1 к АГС2. Тем самым осуществляется структурная адаптация СЭЭС к аварийной ситуации, целью которой является недопущение перерыва в питании ответственных потребителей судна.

Для практической реализации рассмотренного способа предупредительного управления СЭЭС могут быть синтезированы специально разработанные устройства. В качестве датчиков информации целесообразно использование датчиков мощности и датчиков замыкания автоматических выключателей работающих ГА, а также устройств контроля уровня воды и сигнализации о появлении пожара в помещении, в котором расположен ГА и устройств формирования обобщенного сигнала о неисправности соответствующего ГА. Это позволит сформировать сигнал, пропорциональный прогнозируемому значению максимальной мощности, которую сможет генерировать СЭЭС после отключения вышедших из строя ГА.

Предложенный подход в полной мере вписывается в нормативные документы и дополняет существующие способы управления и защиты СЭЭС. Он не требует разработки специальных датчиков информации. При его использовании заметно повышается надежность электроснабжения ответственных потребителей судна. Для СЭЭС важнейшими свойствами, входящими в состав надежности, являются безотказность и ремонтопригодность, а показателями надежности – вероятность безотказной работы и коэффициент готовности, который одновременно количественно характеризует два свойства надежности – безотказность и ремонтопригодность. Важность обеспечения высокой ремонтопригодности обусловлена тем, что судно является автономной системой и в процессе плавания ЗИП является ограниченным. Наряду с вероятностью безотказной работы важным показателем также является запас работоспособности [7]. Этот показатель определяется конфигурацией области работоспособности и текущим значением отображающей точки $S(\mathbf{X})$. Разработка методов прогнозирования технического состояния СЭЭС наряду с развитием методов интеллектуального управления способны с высокой достоверностью установить момент подачи команды на превентивную реконфигурацию СЭЭС.

Литература

1. Широков Н. В. Метод исключения омонимичных областей в предупредительном управлении электротехнической системой / Н. В. Широков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 2. — С. 390–401. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-390-401.

2. Saushev A. Preventive Protection of Ship's Electric Power System from Reverse Power / A. Saushev, N. Shirokov, S. Kuznetsov // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. EMMFT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. — Springer, Cham, 2021. — Vol. 1258. DOI: 10.1007/978-3-030-57450-5_33.

3. Saushev A. Preventive protection of marine electrical power system from the transition of generating sets to motoring mode / A. Saushev, N. Shirokov // E3S Web of Conferences. — EDP Sciences, 2021. — Vol. 244. — Pp. 08007. DOI: 10.1051/e3sconf/202124408007

4. Широков Н. В. Превентивная защита судовой электроэнергетической системы с параллельно работающими генераторными агрегатами / Н. В. Широков // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2021. — № 62-63. — С. 121–130.

5. Саушев А. В. Области работоспособности электротехнических систем: монография / А. В. Саушев. – СПб.: Политехника, 2013. – 412 с.

6. Saushev A. Rapid identification of the technical condition of a marine electric power system /A.Saushev. N.Shirokov, A.Butsanets //Journal-of-Physics-Conference-Series-1742-6596. Doi:10.1088/1742-6596/2061/1/012032.

7. Саушев А. В. Основы управления состоянием электротехнических систем объектов водного транспорта: монография / А. В. Саушев. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2015. — 215 с.

8. Широков Н. В. Превентивная защита судовых электроэнергетических систем от перегрузки при ошибочных действиях экипажа / Н. В. Широков // Вестник Государственного университета морского и

речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 3. — С. 430–441. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-430-441.

9. Yaghobi H. Fast predictive technique for revers power detection in synchronous generator / H. Yaghobi // IET Electric Power Applications. — 2018. — Vol. 12. — Is. 4. — Pp. 508–517. DOI: 10.1049/iet-epa.2017.0491.

АППАРАТНЫЕ МЕТОДЫ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Коковин В.А., Кривцов П.Н., Сытин А.Н. Увайсов С.У.*
Государственный университет «Дубна» филиал «Протвино», Протвино, * РТУ МИРЭА, Москва.
+7 (985) 979-96-77 kokovin@uni-protvino.ru

Статья посвящена разработке аппаратных методов кибербезопасности позволяющих защитить передаваемые данные при взаимодействии распределенных информационных и управляющих устройств автоматизированных систем. В статье проанализированы киберугрозы, возникающие при коммуникации в системах управления распределенных систем и решения по защите от этих киберугроз, реализованные на аппаратных платформах. Рассмотрена типовая структура системы управления Функционального Сетевого Компонента (ФСК), имеющая в составе *ARM* - контроллер и вычислитель на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). К устройствам класса ФСК относятся управляющие системы, имеющие коммуникационные возможности для взаимодействия по локальным сетям, способные анализировать информацию с помощью вычислителей для самостоятельного принятия решений и через исполнительные устройства воздействовать на окружающую физическую среду. Предложено решение по защите передаваемых данных путем добавления в сообщения Крипто Идентификатора, реализованного на базе ПЛИС.

Ключевые слова: кибербезопасность, функциональные сетевые компоненты, ПЛИС, Крипто Идентификатор.

Hardware methods of cyber security in the interaction of distributed devices of an automated system. Kokovin V.A., Krivtsov P.N., Sytin A.N., Uvaysov S.U.* State University “Dubna”, branch “Protvino”, *MIREA.

The article is devoted to the development of hardware cybersecurity methods that allow protecting the transmitted data during the interaction of distributed information and control devices of automated systems. The article analyzes cyber threats that arise during communication in distributed systems and solutions to protect against these cyber threats implemented on hardware platforms. The typical control system of the Functional Network Component (FNC) is considered. FNC includes an ARM controller and an FPGA-based CPU. FNC class devices include control systems with communication capabilities for interaction over local networks. Control systems are capable to analyze information using computers for independent decision-making. A solution is proposed to protect the transmitted data by adding a cryptoidentifier implemented on the basis of FPGA to the messages.

Keywords: cyber security, functional networking components, FPGA, Crypto Identifier.

Введение

Возросший уровень интеллектуализации управляющих и исполнительных устройств позволяет расширить функциональность технологических систем, повысить их производительность и эффективность прогнозирования сбоев оборудования. Кроме этого, создается технология идентификации и разрешения для реализации взаимосвязей между физическими и виртуальными объектами и обеспечения функциональной совместимости цифровых объектов, что повышает промышленную эффективность. Еще больший выигрыш достигается при использовании интеллектуального оборудования в распределенных управляющих системах с применением сетевых технологий. Появление сетевых экосистем, таких как *Industrial Internet of Things (IIoT), Internet of Robotic Things (IoRT)* [1] дало мощный импульс для использования открытых информационных и коммуникационных технологий. Но это же послужило причиной возросших информационных атак на *IoT/IIoT* - приборы, инфраструктурные решения которых основаны на технологиях и устройствах сетевых экосистем. Первые из этих приборов (*IoT/IIoT*), как правило, выполняют вспомогательные функции, связанные с мониторингом некоторых процессов, подготовкой и передачей данных на уровень принятия решений. Устройства класса ФСК [2], в состав которых входят приборы *IoRT*, могут непосредственно принимать решения и воздействовать на окружающую физическую среду.

Кибератаки, применяемые к сетевым устройствам, можно условно разделить на два типа. Первый тип атак – это пассивные атаки, в этом случае состояние атакуемого устройства не меняется. А вот активный тип атак может привести устройство либо к выходу из строя, либо заставить его перейти в состояние, противоречащее текущему состоянию рабочего алгоритма. Опасность кибератак и последствия их с точки зрения критических уязвимостей технологических процессов, которыми управляют ФСК, гораздо выше. Этот вывод заставляет разработчиков ФСК искать новые, нетрадиционные подходы, связанные как с разработкой программного обеспечения, так и с архитектурно-аппаратными решениями.

Программные технологии защиты от кибератак постоянно совершенствуются, но полной гарантии безопасности, к сожалению, они не дают. Бесконечные обновления защитного программного обеспечения оконечных вычислительных устройств является ответом на непрерывно эволюционирующие киберугрозы. Это говорит о том, что абсолютной защиты быть не может, а использование защитного программного обеспечения дает только отсрочку воздействия кибератак.

При разработке архитектуры вычислительного ядра ФСК была заложена возможность использовать разнородную конфигурацию вычислительных устройств, реализованных на различных платформах [2]. Выбор данной конфигурации определялся классом решаемых задач, к основным из которых относятся сетевые взаимодействия, управление технологическими процессами в реальном времени, малым потреблением энергии и т.д. Появление технологии ПЛИС и инструментальной базы для разработки проектов позволило использовать данные устройства в составе вычислительных ядер ФСК. Это дало возможность реализовать на ПЛИС не только контуры управления быстрыми процессами, но и создавать аппаратные системы защиты от внешних киберугроз.

В данной статье рассматриваются киберугрозы для ФСК - устройств, в составе управляющих контуров которых применяются ПЛИС. Предложены методы защиты сетевых обменов сообщениями и событиями внутри кластера ФСК - устройств с круговой организацией выделенной сети.

Анализ работ по тематике статьи

При разработке программной и аппаратной защиты конечных вычислительных устройств от киберугроз приходится учитывать множество условий и нюансов, связанных с аппаратными и программными реализациями этих устройств. ФСК, как сетевые устройства, работающие в промышленных инфраструктурах, имеют свои особенности по решаемым задачам, а следовательно, имеют аппаратный и программный инструментарий, обеспечивающий реализацию поставленных задач. Использование в составе управляющей электроники ФСК вентильных матриц дает большое преимущество по конфиденциальности проекта, что повышает кибербезопасность всей электроники. В статье [3], посвящённой применению ПЛИС в промышленных управляющих системах, дается подробный анализ возможности широкого использования цифровых матриц в сетевой, управляющей, силовой, медицинской и вычислительной электронике. В выводах статьи говорится о преимуществах использования ПЛИС, связанными со снижением себестоимости разработки проекта при увеличении производительности обработки информации. Это реализуется за счет возможности распараллеливания вычислительных процессов, повышение кибербезопасности и большей защиты интеллектуальной собственности разработчиков. Недостаточная эффективность программных реализаций защиты от киберугроз, особенно в промышленных управляющих системах, вынуждает разработчиков искать новые решения. Использование ПЛИС для реализации аппаратного брандмауэра с фильтрацией пакетов представлено в работе [4]. Устройство реализовано на 32-битном *RISC*-микропроцессоре с программным ядром. Авторы к преимуществам такого решения приводят высокую скорость обработки пакетов, расширенную функциональность и возможность изменять конфигурацию в реальном времени.

Другой подход реализации защиты на платформе ПЛИС, “более аппаратный“, предлагает автор статьи [5]. В основе этого подхода лежит идея сократить число состояний управляющего процессора, как конечного автомата, даже в ущерб гибкости последнего. Для безопасной конфигурации реализованного на ПЛИС фильтра предлагается использовать специальный административный процессор. Идеальным вариантом для безопасности является полная изоляция административного процессора от любых сетевых обменов. По мнению автора, разработка фильтра на базе ПЛИС намного сложнее программного, но результат может достичь уровня безопасности, намного превышающего то, что может обеспечить программный брандмауэр.

Построение киберзащиты для устройств *IoT/IIoT* имеет свои особенности из-за ограниченности вычислительного ресурса и энергопитания (часто от аккумулятора), небольшого сетевого трафика с ограничениями по программным обновлениям безопасности. Для безопасного функционирования *IoT/IIoT* можно выделить следующие широко известные правила: идентификацию устройства (например, *RFID*), авторизацию доступа к ресурсам и конфиденциальность доступа к определенной информации (например, к файлам конфигурации при использовании ПЛИС), регулярное обновление прошивки безопасности. Это типовые требования по безопасности для любых сетевых устройств. Но из-за ограничений по ресурсам,

выполнить их не всегда возможно. В этом случае требуются дополнительные меры для отражения киберугроз.

Подход реализации защиты *IoT/IIoT* от киберугроз на ПЛИС представлен в работе [6,7]. Авторы предлагают решение аппаратного реконфигурируемого *firewall* на базе *System-on-Programmable-Chip* (*SOPC*), который содержит кроме вентильных матриц встроенное ядро *ARM*-процессора. Это позволяет решить поставленные авторами задачи по снижению энергопотребления, повышению производительности и низкой стоимостью для широкого круга *IoT/IIoT* устройств. Анализ статей по данной тематике показал, что использование в *IoT/IIoT* и *IoRT* только программной защиты от угроз является недостаточной. Во многих работах наблюдается повышенное использование ПЛИС как основы для аппаратной защиты. Например, в последнее десятилетие в качестве уникального идентификатора электронных устройств используется так называемая *Physically Unclonable Function* (*PUF*). *PUF* может быть физическим объектом, структура которого должна быть неоднородной. Эта неоднородность позволяет с помощью *PUF* создать уникальные криптографические ключи. Использованию различных *PUF* посвящены многочисленные публикации (например, [8]). Широко применяются *PUF*, создаваемые на физических структурах кремния интегральных схем (ИС). При создании любых ИС невозможно идеально повторить при тиражировании структуру производимой микросхемы. Эти субмикронные отличия можно использовать разными способами для создания ключей безопасности. Например, измерять задержки распространения сигналов по различным проводникам микросхемы, которые будут различными в разных микросхемах одного производственного технологического процесса.

В статье [9] рассматривается использование *time-to-digital converter* (*TDC*) для измерения времени процессов при реализации *PUF*. Создание *PUF*, которая бы идентифицировала всю электронную плату, рассматривается в статье [10]. Такой подход по мнению авторов позволит обнаружить аппаратные *Trojans,* вредоносные или неисправные микросхемы, размещенные на печатных платах. Такие микросхемы могут выполнять атаки на аппаратном уровне и вызывать ошибки работы всей платы. В основе получения *PUF* используется контроль времени задержки прохождения сигналов через логические элементы с помощью *TDC* при изменении напряжения питания.

Рассмотрим некоторые особенности использования платформы на базе ПЛИС как основы для построения киберзащиты. У ПЛИС, как и у любых программируемых приборов, есть недостатки с точки зрения кибербезопасности. Широкое использование ПЛИС в промышленных и научных сферах, когда объектами управления являются критически важные системы атомных станций и ускорители частиц с высокой энергией, требует высокого уровня безопасности работающих подсистем. Большое количество статей посвящено кибератакам на ПЛИС по так называемым «боковым» каналам (*side-channel*). Для получения крипто информации злоумышленниками анализируются не каналы, связанные с передачей информации, а такие каналы как измерение мощности, электромагнитных излучений и т.д. Например, в статье [11] показано, что интегрированная ПЛИС может представлять собой новую уязвимость в системе безопасности, позволяя получать крипто информацию анализируя электропотребление. В статье [12] анализируется возможность получения ключей шифрования, размещенных в ПЛИС, методом измерения электромагнитным датчиком сигналов на длинных линиях, подходящих к FPGA. Для экономии времени и средств очень часто разработчики используют *IP*-ядра. Проверить *IP*-ядра сторонних фирм на предмет незадекларированных возможностей достаточно сложно, а это может добавить уязвимости проектов на ПЛИС.

Повышение кибербезопасности ФСК при использовании дополнительных аппаратных средств

В данной статье предлагаются методы повышения кибербезопасности устройств ФСК, объединенных в кластеры при взаимодействии по последовательной сети. Предполагается, что рассматриваемые ФСК используют гибридные вычислители, в состав которых входит ПЛИС. Разумеется, защита коммуникаций на уровне *LAN* с “внешним миром” является не менее важным участком кибербезопасности и может быть организована как на программной, так и аппаратной основе.

Рассмотрим структуру ФСК, используемых в распределенных системах управления с точки зрения защиты от киберугроз. В работе [13] дается анализ требований к ФСК, как к устройствам, имеющих ресурсы для сетевого взаимодействия (например, роботизированные устройства или электротехнические устройства со встроенным интеллектом и сетевыми портами). К устройствам класса ФСК относятся управляющие системы, имеющие коммуникационные возможности для взаимодействия по локальным сетям, способные анализировать информацию с помощью вычислителей для самостоятельного принятия решений и через исполнительные устройства воздействовать на окружающую физическую среду. Последнее условие по отношению к ФСК может быть определяющим, поскольку выделяет использование свойств данных устройств по отношению к окружающей среде. Кроме того, ФСК разной функциональной направленности (мехатронные, электротехнические и т.д.) могут по-разному воздействовать на физическую среду, что отражается в особенностях их организации как сетевых устройств. Идея повышения кибербезопасности ФСК при сетевых коммуникациях по локальным сетям заключается в

измерении времени передачи и приема сообщений. Для этих целей в структуру ФСК добавлена подсистема измерения времени с разрешением не хуже 55 ps. На рис.1 представлена структура ФСК с дополнительным аппаратным обеспечением - *TDC* преобразователем. Основные компоненты в составе ФСК решают управляющие, коммуникационные и вычислительные задачи:

- *ARM* контроллер – выполнение алгоритма задачи и обработка информации с датчиков.
- ПЛИС (*FPGA*) – формирование управляющих сигналов для функциональных модулей.
- *TDC* – измерение интервалов времени передачи и приема сообщений.
- *DS-link* – входные и выходные порты последовательного асинхронного интерфейса локальной сети стандарта *IEEE Std* 1355—1995.
- *Functional module_N* – функциональные модули, которые содержат выходные каскады для решения определенной функциональной задачи.

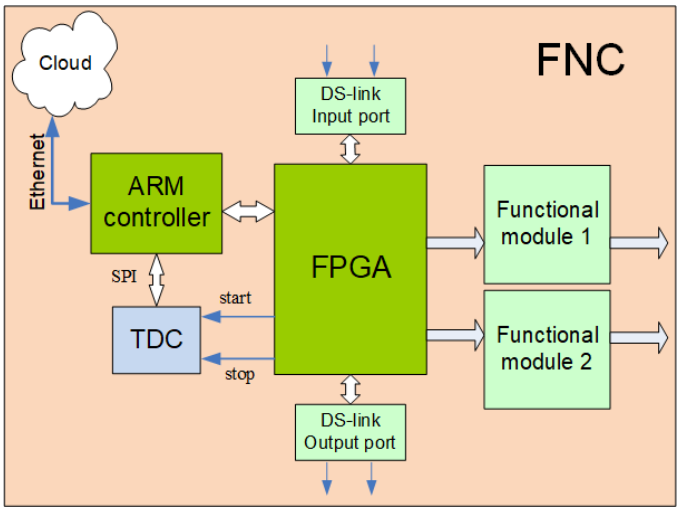


Рисунок 1– Структурная схема ФСК с устройством измерения времени *TDC*.

Рассмотрим взаимодействие отдельных компонентов ФСК. Компоненты *ARM*, ПЛИС, *TDC* и двухпортовый *DS-link* составляют вычислительное и коммуникационное ядро ФСК. Эти компоненты составляют основу любого ФСК и могут меняться только их параметры в зависимости от выполняемой задачи. *TDC* используется для создания Крипто Идентификатора (КИ) модуля. *Functional module* определяют функциональность ФСК, например, этими компонентами могут быть приводы автономного робота или силовые преобразователи мощного генератора инфранизкой частоты.

Алгоритм решаемой задачи распределен между двумя вычислителями – *ARM* и ПЛИС. На *ARM* контроллере выполняются сложные расчеты, когда требуется большая вычислительная мощность с использованием 64 – битного многоядерного процессора (например, *Cortex*-A72 семейства *ARM* v.8) и большая оперативная память. Другая сложная технологическая задача для *ARM* контроллера – обработка видеопотоков в реальном времени от встроенной в ФСК видеокамеры. Задача ПЛИС – обработка быстропротекающих технологических процессов (например, когда требуется максимальное распараллеливание при обработке входных потоков данных и событий. Кроме того, на ПЛИС реализуются драйверы нестандартных интерфейсов локальной сети (*DS-link*) и реализуется алгоритм киберзащиты для получения КИ.

Рассмотрим более подробно аппаратное обеспечение в составе ФСК для решения задач кибербезопасности. В представленной работе проводились эксперименты с TDC7200, разработанным Texas Instruments [14]. Преобразователь TDC выполняет функцию секундомера и измеряет прошедшее время между импульсом *START* и импульсом *STOP* (рис.1). Устройство имеет внутреннюю самокалибрующуюся временную базу, которая компенсирует дрейф во времени и температуре. Самокалибровка обеспечивает точность преобразования времени в цифру порядка единиц пикосекунд. Кроме этого, данное устройство имеет низкое энергопотребление, что отвечает требованиям ФСК. Для проведения экспериментов была разработана плата на базе TDC7200, с опорным генератором 16 MHz. На рис.1 показаны управляющие сигналы и интерфейс SPI для конфигурирования и чтения регистров TDC. Перед началом работы TDC выполняется внутренняя калибровка, дается разрешение на измерение и ожидается сигнал *START* от ПЛИС. Сигнал *START* означает начало передачи сообщения по локальной магистрали другому ФСК. *TDC*, используемый в экспериментах данной работы, имеет возможность воспринимать несколько сигналов *STOP*. Это свойство используется при реализации алгоритма работы *TDC*.

Рассмотрим алгоритм формирования КИ при передаче сообщений. Формируются два вида КИ.

Для получения КИ1 цифровое сообщение пропускается через набор логических блоков ПЛИС и фиксируется с помощью *TDC* интервал времени между началом сообщения и появлением его на выходе ПЛИС (и на входе устройства *DS-link output port*). В этот момент формируется первый сигнал *STOP*. После передачи всего сообщения формируется второй сигнал *STOP*. Этот интервал времени является вторым КИ2. Второй сигнал *STOP* останавливает работу *TDC* и по команде по интерфейсу *SPI* содержимое регистров *TDC* считывается в контроллер. Полученные значения двух интервалов времени (КИ1 и КИ2) передаются в ПЛИС, где выполняется обработка данных по алгоритму сжатия данных без потерь [15]. Далее обработанные КИ передаются отдельным сообщением другому ФСК.

В основе формирования КИ лежит предположение о не идеальности повторяемости внутренней структуры микросхем ПЛИС при их производстве, даже с одинаковой заводской маркировкой. Когда мы пропускаем сигнал по одинаковому пути разных микросхем, то наблюдаем девиацию временного интервала, что и является основой идентификатора КИ1. Второй идентификатор позволяет сравнивать время передачи (на одном ФСК) и время приема (на другом ФСК), что дает возможность идентифицировать передачу как достоверную. Следует отметить, что сжатие данных сообщений без потерь по определенному алгоритму позволяет увеличить кибербезопасность ФСК.

Заключение

Предложенная методика позволяет повысить кибербезопасность ФСК при коммуникационных взаимодействиях по локальным сетям. Дополнительные аппаратные ресурсы (например, измеритель времени типа *TDC*) имеют небольшие массогабаритные характеристики и низкую стоимость. Это позволяет успешно использовать *TDC* не только для формирования Крипто Идентификаторов, но и решать дополнительные задачи по обнаружению аппаратных *Trojans*, вредоносных или неисправных микросхем, размещенных на печатных платах [10]. Для реализации экспериментов по формированию КИ были разработаны проекты в пакете *Quartus Prime Lite v*.18.1 (для приемной и передающей сторон), которые позволили формировать сигналы *START* и *STOP* для управления работой *TDC*, а также создавать сообщения для передачи и приема через порты интерфейса *DS-link*.

Литература

1. Y. Liu, C. Chi, Y. Zhang and T. Tang, "Identification and Resolution for Industrial Internet: Architecture and Key Technology," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 18, pp. 16780-16794, 15 Sept.15, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3160737

2. Kokovin V.A., Evsikov A.A., Diagilev V.I., Skvortsov V.V., Uvaysov S.U. and Uvaysova A.S., Design of Functional Networking Components as Elements of an Industrial Ecosystems, *2021 International Seminar on Electron Devices Design and Production (SED)*, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/SED51197.2021.9444508

3. E. Monmasson and M. N. Cirstea, "FPGA Design Methodology for Industrial Control Systems—A Review," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 54, no. 4, pp. 1824-1842, Aug. 2007, doi: 10.1109/TIE.2007.898281

4. R. Ajami and A. Dinh, "Design a hardware network firewall on FPGA," *2011 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering(CCECE)*, 2011, pp. 000674-000678, doi: 10.1109/CCECE.2011.6030538

5. Brian Romansky**, "**Minimizing Risk with FPGAs and Hardware-Based Security". (Online) Available: https://owlcyberdefense.com/blog/minimizing-risk-with-fpgas-and-hardware-based-security.

6. A. P. Antonov, A. S. Filippov and O. V. Mamoutova, "Next generation FPGA-based platform for network security," *2016 18th Conference of Open Innovations Association and Seminar on Information Security and Protection of Information Technology (FRUCT-ISPIT)*, St. Petersburg, Russia, 2016, pp. 9-14, doi: 10.1109/FRUCT-ISPIT.2016.7561501

7. Подходы к созданию устройств интеллектуальной обработки данных в реконфигурируемой гетерогенной распределенной суперкомпьютерной среде Антонов А.П., Заборовский В.С., Киселев И.О. В сборнике: XII Мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2019). материалы XII мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2019): в 4 томах. 2019. С. 33-35.

8. M. Garcia-Bosque, G. Díez-Señorans, C. Sánchez-Azqueta and S. Celma, "Introduction to Physically Unclonable Fuctions: Properties and Applications," *2020 European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD)*, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ECCTD49232.2020.9218404.

9. Sugawara T., Onuma T., Li Y. "Signal Injection Attack on Time-to-Digital Converter and Its Application to Physically Unclonable Function", In: Aoki K., Kanaoka A. (eds) Advances in Information and Computer Security. IWSEC 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12231. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58208-1_7

10. P. Naughton and R. Esswein, "Power Delivery Network as a Physically Unclonable Function" (2020). *Electrical and Systems Engineering Capstone Design Projects*. (Online) Available: https://openscholarship.wustl.edu/ese_capstones/1

11. M. Zhao and G. E. Suh, "FPGA-Based Remote Power Side-Channel Attacks," *2018 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, 2018, pp. 229-244, doi: 10.1109/SP.2018.00049

12. C. Ramesh *et al*., "FPGA Side Channel Attacks without Physical Access," *2018 IEEE 26th Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM)*, 2018, pp. 45-52, doi: 10.1109/FCCM.2018.00016.

13. Коковин В.А., Евсиков А.А., Леонов А.П. Особенности организации и взаимодействия функциональных сетевых компонентов в распределенных управляющих системах. / Информационные технологии. - 2021. - Т.27, № 4. - с. 212 – 224.

14. Texas Instruments: SNAS647D: TDC7200 time-to-digital converter for time-of-flight applications in lidar, magnetostrictive and flow meter. (Online) Available: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tdc7200.pdf.

15. V. A. Kokovin, S. U. Uvaysov and S. S. Uvaysova, "Real-time sorting and lossless compression of data on FPGA," *2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT)*, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/MWENT.2018.8337187.

РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ В ФРЕЙМВОРКЕ VUE.JS

Ларина Т.Б., Орлова Д.А.
Российский университет транспорта (РУТ-МИИТ), г. Москва
+7 (916) 427-23-34 , tblarina@gmail.com

В работе рассматриваются особенности современного фреймворка Vue.js для разработки интерфейсов web-приложений. Анализируется его идеология, функциональные особенности и характеристики. На примере разработки клиентских интерфейсов для регистрации и авторизации пользователей web-приложений показана последовательность и специфика разработки с использованием фреймворка.

Ключевые слова: Vue.js, web-программирование, пользовательские программные интерфейсы

Development of user interfaces of web applications in Vue.js framework. Larina T.B., Orlova D.A. Russian University of Transport (RUT-MIIT), Moscow

In work features of a modern framework of Vue.js for development of interfaces of web applications are considered. His ideology, functional features and characteristics is analyzed. On the example of development of client interfaces for registration and authorization of users of web applications the sequence and specifics of development with use of a framework is shown.

Keywords: Vue.js, web programming, users program interfaces

Введение

Для создания современных web-приложений необходим набор инструментов. Язык HTML для создания структуры web-документов, внедрения в них графики и элементов мультимедиа [1,2]. Каскадные таблицы стилей CSS используются для задания желаемого внешнего вида страниц [2]. Языки программирования JavaScript и PHP предназначены для разработки клиентских и серверных сценариев, обеспечивающих динамичность и функциональность web-страниц [3]. Фреймворком (framework) называют программное обеспечение, облегчающее разработку и объединение различных компонентов большого программного проекта. Цели любых фреймворков – обеспечить масштабируемость, удобство поддержки, модульность проекта. Рассмотрим особенности использования современного фреймворка Vue в web-программировании.

Миссия Vue.js

Vue.js – это «кроссплатформенный JavaScript фреймворк с открытым исходным кодом для создания пользовательских интерфейсов» [4]. Фреймворк разработан Эваном Ю в 2014 году и в настоящее время поддерживается членами его команды из различных компаний. Фреймворк ориентирован на создание пользовательских интерфейсов, позволяя удобным образом организовать взаимодействие между различными компонентами приложения. Это позволит в дальнейшем легко масштабировать и поддерживать такое приложение. Фреймворк управляется с помощью команд и операторов языка JavaScript. Он легко интегрируется в проекты с использованием любых JavaScript-библиотек, поддерживается всеми современными браузерами.

Идеология Vue.js

Основной особенностью в работе Vue.js является «виртуальный» DOM (Document Object Model) браузера. Структура веб-страницы описывается с помощью модели DOM, которая представляет организацию html-элементов на web-странице [5]. Для изменения организации html-элементов в DOM применяют JavaScript. Операции с элементами в JavaScript занимают определенное время, что снизит производительности при значительных количествах таких элементов.

Работа с html-элементами из Vue.js происходит значительно быстрее, именно благодаря «виртуальному» DOM. «Виртуальный» DOM представляет легковесную копию обычного DOM. Когда приложению Vue.js нужно узнать информацию о состоянии элементов, происходит обращение к виртуальному DOM. Изменение данных в приложении Vue.js вначале вносятся в «виртуальный» DOM. Затем Vue выбирает минимальный набор компонентов, для которых надо выполнить изменения на веб-странице, чтобы реальный DOM соответствовал «виртуальному».

Свойство автоматического обновления представления страницы при изменении данных «виртуального» DOM во Vue.js называют «реактивность». Таким образом, программист во Vue.js работает с данными, а манипуляции с разметкой веб-страницы происходят автоматически благодаря реактивности и специальным директивам. Такой подход называют «основанным на данных» (Data-driven).

HTML-шаблоны во Vue.js используются для определения способа визуализации компонентов страницы. То есть, способа описать поведение вашей разметки с привязкой к данным: как меняется разметка при изменении данных, какие методы вызываются при том или ином событии. Эти события также определяются в шаблоне [6].

Технология разработки

Vue.js поддерживается в MS Visual Studio, как веб-приложение. Для начала разработки был установлен VisualStudioCode и необходимые инструменты для работы с ним [7]:

- набор инструментов Vue.Js Devtools, устанавливаемый в браузере для удобства выполнения проверок и отладки приложений Vue [8];
- NPM – консольная утилита, позволяющая удобным образом взаимодействовать с удаленными ресурсами. С ее помощью можно работать с пакетами установки, обновления версий [9].

На рис.1 показан пример простейшего приложения Vue, выводящего приветствие.

HTML
```
<div id="app">
  {{ message }}
</div>
```

JS
```
var app = new Vue({
  el: '#app',
  data: {
    message: 'Привет, Vue!'
  }
})
```

Привет, Vue!

Рисунок 1 – Пример простейшего Vue-приложения

Пример похож на обычную «отрисовку шаблона», однако Vue уже проделал определенную работу – он связал данные и DOM. Когда мы зададим свойству app.message новое значение, на странице в браузере увидим это изменение.

Создание приложения

Приложение Vue начинается с создания «корневого экземпляра» Vue, он создается с помощью функции «new Vue» (рис.2). С помощью опций описывается дерево повторно используемых компонентов. Переменную с экземпляром Vue традиционно называют vm, сокращённо от ViewModel.

```
var vm = new Vue ({
    // опции
})
```

Рисунок 2 - Создание корневого экземпляра

Данные

После создания экземпляра Vue его свойства из опции data будут добавлены в «систему реактивности». В дальнейшем изменение данных автоматически приведет к изменению представления страницы (рис.3). Опция data обязательно должна быть создана при создании экземпляра, иначе эти свойства не будут «реактивными».

Функции жизненного цикла экземпляра

Над каждым созданным экземпляром Vue выполняет последовательность действий для его инициализации: настраивает наблюдение за данными, производит компиляцию шаблона, добавляет экземпляр в DOM, обновляет его после изменения данных. Между этими операциями Vue может выполнять ряд функций, например, выполнение кода - create, монтирование – mounted и другие. Они называются «хуками». Вызов того или иного хука делается с помощью переменной this, в которой дается ссылка на экземпляр, ее вызывающий.

```JS
// Наш объект data
var data = { a: 1 }
// Объект добавляется в экземпляр Vue
var vm = new Vue({
  data: data
})
// Получение свойства из экземпляра
// возвращает то же значение из исходных данных
vm.a === data.a // => true
// Изменение свойства экземпляра
// влияет на оригинальные данные
vm.a = 2
data.a // => 2
// ... и наоборот
data.a = 3
vm.a // => 3
```

Рисунок 3 – Изменение свойств в опции data

Шаблоны

Шаблоны Vue основаны на синтаксисе HTML. Из шаблона Vue извлечь необходимую информацию («распарсить») могут любые браузеры. При работе Vue компилирует HTML-шаблоны в функции «виртуального» DOM. В дальнейшем фреймворк определяет компоненты, в которые требуется внести изменения - «повторно отрисовать страницу», и проводит соответствующие изменения в DOM.

Текст

Это простейший способ связывания данных. Используется синтаксис двойных скобок. Записанное в фигурных скобках выражение будет заменено на значение, взятое из свойства msg указанного объекта – источника данных (рис.4).

```
<span> Сообщение: {{ msg }} </span>
```

Рисунок 4 – Связывание текстовых данных

Использование выражений JavaScript

Для связывания данных Vue может использовать любые выражения языка JavaScript с одним ограничением - допускается лишь одно выражение. Примеры выражений показаны на рис.5:

```
{{ number + 1 }}
{{ ok ? 'YES' : 'NO' }}
{{ message.split ('').reverse (). join('') }}
<div v-bind:id = "'list-' + id"> </div>
```

Рисунок 5 – Примеры записи выражений

Директивы

Это специальные указания с префиксом v- , которые можно использовать внутри html-шаблона компонента vue, чтобы определенным образом взаимодействовать с html-тегами. В качестве значения директивы используют выражение JavaScript, исключением является только директива v-for. Результатом директивы будет применение к DOM измененных данных. Примеры некоторых основных директив:

- v-show и v-if. Отвечают за отображение элемента. При значении true элемент отобразится на странице или наоборот. При использовании v-show элемент всегда будет оставаться в DOM, а меняется только значение css-свойства display. При управлении видимостью через v-if, элемент будет пропадать или появляться в DOM-дереве.

- v-else, v-else-if. Директивы условий могут использоваться вместе с директивами v-else и v-else-if. В зависимости от значений будет отображаться тот или иной компонент.

- v-bind. Привязка данных - вывод динамических данных внутри html-атрибута. Атрибут передается директиве, как аргумент.

- v-model. Двухсторонняя привязка - между данными элементами формы и данными из объекта data.

- v-on. Добавление события на элемент. Аргументом директивы является название события. Названия событий аналогичны событиям JavaScript. В примере ниже мы добавили обработчик события click, на кнопку, инкрементирующую переменную counter (рис.6).

- v-for. Вывести данные массива в список элементов.

- v-html. Устанавливать html-разметку внутрь элемента.

Некоторые директивы требуют указания аргумента. Он отделяется от названия директивы двоеточием. В примере аргумент href="url" указывает директиве v-bind связать атрибут href элемента со значением выражения url (рис.6).

```
<a  v-bind: href = "url"> ... </a>
```

Рисунок 6 - Аргументы в директиве

Директивы могут использовать слова-модификаторы, которые записываются после точки. Назначение модификаторов – показать необходимость связи директивы. В примере ниже модификатор .prevent предписывает директиве v-on необходимость вызвать функцию event.preventDefault() при обработке произошедшего события (рис.7).

```
<form v-on: submit.prevent ="onSubmit"> ... </form>
```

Рисунок 7 – Модификаторы директивы

Компоненты Vue

Это повторно используемые экземпляры Vue, каждый со своим именем. В примере на рис.8 описываем компонент с именем <button-counter>.

```
Vue.component ('button-counter', {
 data: function () {
  return {
   count: 0
        }
                },
 template: '<button v-on:click= "count++">Счётчик кликов — {{ count }}</button>'
                }
```

Рисунок 8 – Создание нового компонента

Создаваемый компонент будет обладать опциями, заданными в корневом компоненте - new Vue. Исключением являются некоторые опции корневого экземпляра, например, опция el. Можно заметить, что в описании компонента <button-counter> опция data не была представлена, как объект. Свойство данных у компонента должно быть функцией для того, чтобы любой экземпляр компонента распоряжался своей независимой копией возвращаемого объекта данных.

Организация компонентов

Обычно приложение оформляется структурно, как иерархическое дерево вложенных в него компонентов (рис.9).

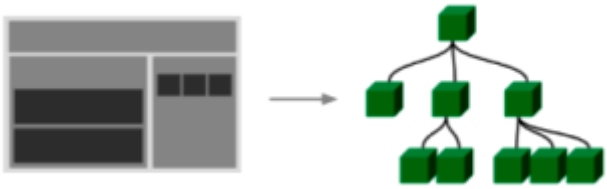


Рисунок 9 - Пример дерева компонентов

Компонентами могут являться различные объекты: заголовки, панели, определенные фрагменты содержимого страницы. Любой компонент может включать в себя множество других компонентов, например, ссылки для навигации и так далее. Прежде, чем использовать компоненты в шаблонах Vue, их надо зарегистрировать. Существуют два способа регистрации компонентов: глобальная и локальная. Глобально зарегистрированные компоненты в дальнейшем можно использовать в шаблоне корневого экземпляра Vue (new Vue) и во всех компонентах его дерева.

В нашей работе компоненты регистрировались глобально через Vue.component (рис.10).

```
Vue. component ('my-component-name', {
// ... опции ...
})
```

Рисунок 10 - Регистрация компонента

Наша задача состояла в разработке во фреймворке Vue.js клиентской части web-приложения для регистрации и авторизации пользователей web-ресурса. Демонстрация созданных клиентских форм и их заполнение показаны на рис. 11 и рис.12.

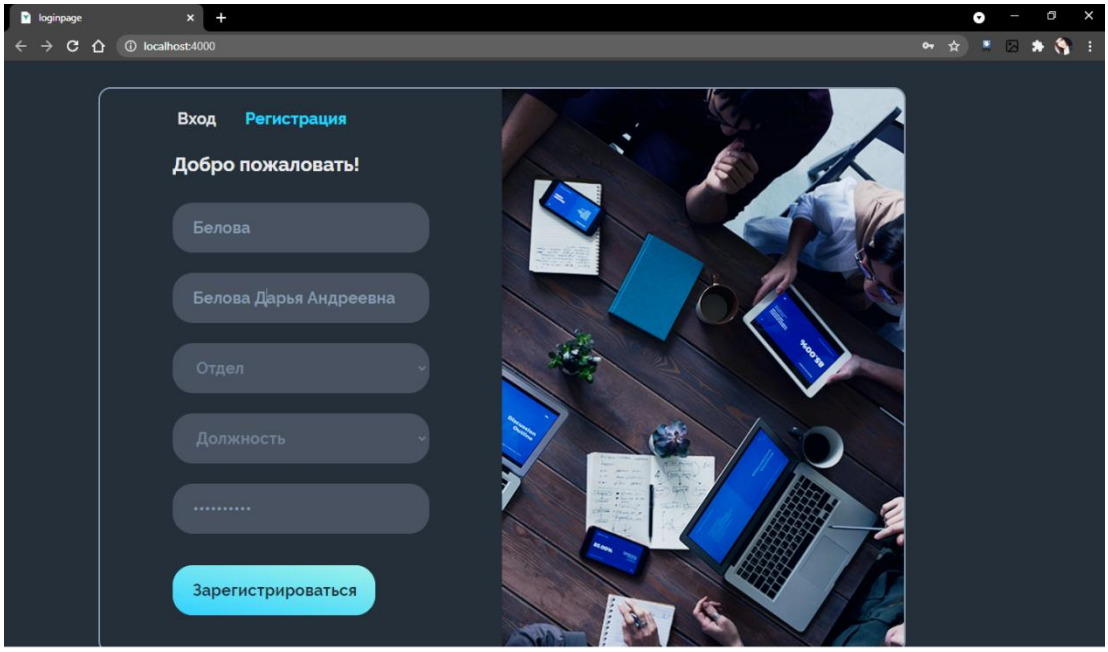


Рисунок 11 – Форма регистрации клиента и пример ее заполнения

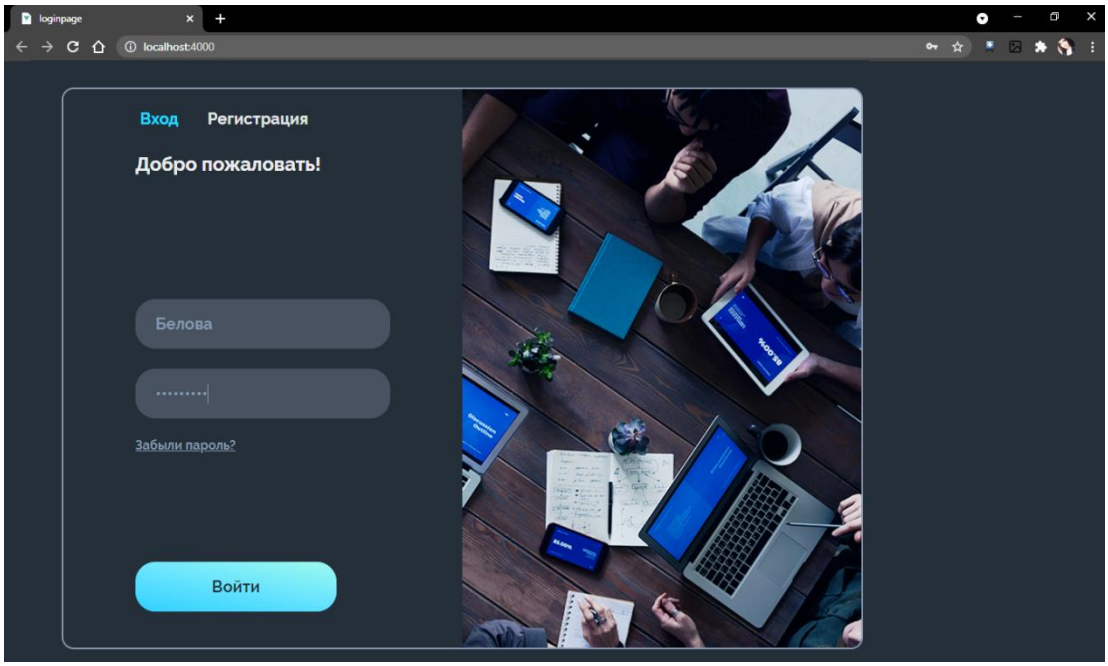


Рисунок 12 – Форма авторизации клиента и пример ее заполнения

Для создания макетов форм авторизации и регистрации пользователя в интерфейсе web-приложения использовался Adobe Photoshop – графический редактор для работы с растровыми изображениями и векторными инструментами [10].

Заключение

Полученный опыт использования фреймворка Vue.js для разработки клиентской части интерфейсов web-приложений для регистрации и авторизации пользователей позволяет сделать некоторые практические выводы. Освоение фреймворка представляется достаточно простым, особенно в сравнении с другими web-фреймворками, например, AngularJs. Для работы с Vue.js достаточно иметь знания и навыки использования JavaScript и HTML. Его можно использовать и для создания несложных приложений. Однако эффективность использования фрейворка проявится только при разработке многокомпонентных проектов.

Литература

1. Дунаев В.В. HTML, скрипты и стили. 4-е изд. - СПб.: БХВ-Петербург, 2015.-816 с.
2. Роббинс Дж. HTML5, CSS3 и JavaScript. - М.: ЭКСМО, 2014. – 528 с.
3. Дронов В.А. JavaScript и AJAX в Web-дизайне. 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 736 с.
4. Vue.js // Википедия. Дата обновления: 16.06.2023 - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Vue.js (дата обращения 20.06.2023).
5. Официальный сайт Vue.js. – Режим доступа: https://ru.vuejs.org (дата обращения 01.06.2023)
6. Хэнчетт Э., Листуон Б. Vue.js в действии. - СПб.: Питер, 2019. – 304 с.
7. Редактор кода Visual Studio Code. Руководство по настройке и установке плагинов для начинающих [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/490754/ (дата обращения 23.06.2023)
8. Инструменты Vue.js разработчика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://itvdn.com/ru/blog/article/vuejs-dev (дата обращения 23.06.2023).
9. JS: Настройка окружения. NPM [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.hexlet.io/courses/js-setup-environment/lessons/npm/theory_unit (дата обращения 23.06.2023).
10. Прохоров А. А. Самоучитель Photoshop CS6. Официальная русская версия (+ DVD-ROM) / А.А. Прохоров, М.В. Финков, Р.Г. Прокди. - М.: Наука и техника, 2013. - 484 с.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГРЕССИОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕВЫХ РЕСУРСОВ

Гнеушев В.А., Кравец А.Г
Волгоградский Государственный Технический Университет
+7 (961) 685-88-73, vladgne@yandex.ru

Статья посвящена исследованию процесса анализа результатов регрессионного тестирования микросервисов. Чаще всего, регрессионная модель содержит большое количество тестов, запуск которых может занять несколько дней. Основная проблема, с которой сталкиваются инженеры по автоматизированному тестированию, – это не столько количество ошибок, сколько оптимизация трудозатрат на их анализ.

Ключевые слова: тестирование микросервисов, анализ дефектов.

Development of models and algorithms for intellectual analysis of distributed network resources. Gneushev V. A., Kravets A. G., Volgograd State Technical University.

The paper dwells on the research of microservices regression testing results analysis. In general, the regression model contains a large number of tests, the launch can take several days. The main problem with the presence of automated testing engineers is not so much the number of errors, but the optimization of labor costs for their analysis.

Keywords: microservice testing, defect analysis.

Введение

С развитием Интернет-технологий все больше компаний прибегают к использованию корпоративных сетей для комплексного и оптимального управления процессами. Предприятия автоматизируют бизнес-процессы для поддержки управленческих решений и повышения эффективности деятельности. Компоненты корпоративных сетей и используемые ими потоки информации являются основными ресурсами бизнеса. [1]

Микросервисная архитектура - самая популярный вариант построения корпоративных приложений. С каждым годом количество микросервисов увеличивается так же, как и объем данных, которые они используют. Разработанные информационные модели становятся больше, а логика сложнее. [2]

Тестирование таких решений становится все более трудоемкой задачей. Регрессионные тестовые модели для сложных систем насчитывают несколько тысяч тестов, запуск которых может продолжаться несколько суток. [3] В результате такого тестирования обнаруживаются несколько сотен ошибок. Не редки случаи, когда из-за одной проблемы имеются ошибки в нескольких тестах из разных групп модулей. Таким образом, несколько инженеров будут тратить время на анализ одной и той же ошибки, что не является оптимальным.

Постановка задачи

Имеется веб-приложение для управления контентом в интернет-магазине, имеющее микросервисную архитектуру. А также фреймворк, который содержит автоматизированные тесты для проверки работоспособности приложения после каждого обновления. В системе менеджмента тестов QTest хранятся записи о запусках автоматизированных тестов. Записи имеют 3 состояния:

- успешное - когда тест завершился и не обнаружил ошибок;
- незавершенное - когда тест не завершился ввиду внешних факторов;
- неудачное - когда тест завершился и обнаружил ошибку.

Каждая запись состоит из шагов, содержащих информацию о тесте и текст ошибки, если таковая была найдена. [4]

Задача: Спроектировать и реализовать модуль анализа логов веб-приложения для группировки похожих ошибок. Настроить интеграцию с системами менеджмента тестов QTest и менеджмента задач Jira [5]. Для каждой группы ошибок, необходимо создать задачу в Jira с указанием текста ошибки и ссылками на неудачные записи в QTest.

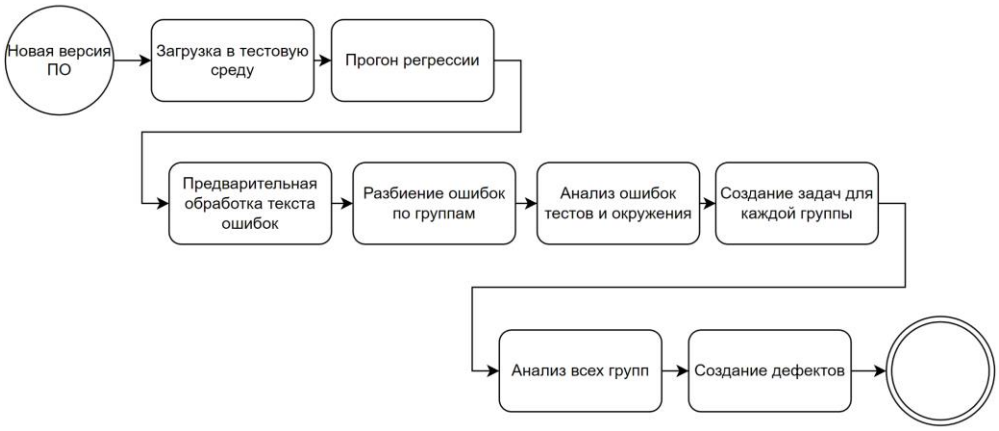


Рисунок 1 – Метод анализа результатов регрессионного тестирования (в нотации BPMN 2.0)

Методы анализа схожести сообщений

Проверка идентичности. Метод посимвольно проверяет 2 сообщения, если все символы совпадают, то сообщения считаются идентичными и могут быть отнесены в одну группу. Недостатком метода является необходимость дополнительной обработки сообщений, так как они могут содержать идентификаторы сущностей, которыми оперируют. Следовательно, одна и также ошибка, возникшая при работе с разными сущностями, будет отнесена в разные группы, что является неверным. [6]

Проверка вхождения. Метод посимвольно проверяет 2 сообщения. Если вся последовательность символов из первого сообщения имеется во втором сообщении, то сообщения могут быть отнесены в одну группу. Для данного метода также необходима предварительная обработка сообщений. Однако, он может верно определить вхождение одной ошибки в набор из нескольких ошибок. [7]

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). Для 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, могут быть определены в одну группу. [8]

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

$$T = \frac{N_c}{N_a + N_b - N_c} \quad (1)$$

где T – сам коэффициент, который принимает значения от 0 до 1(чем ближе к 1, тем больше сходство между множествами), Na – количество элементов в первом множестве, Nb – количество элементов во втором множестве, Nc – количество общих элементов в обоих множествах. Обладает аналогичным недостатком, как и Мера Жаккара. [9]

Поэтому в качестве основного варианта был выбран подход с проверкой вхождения текста одной ошибки в текст другой.

Решение

Была разработана информационная модель, данные которой используются при сравнении текста ошибок, а в дальнейшем и для создания задач в Jira:

Task = {L,S,T,V,I,C,P,D}

где Task - модель задачи, L - список тегов, S - заголовок, T - текст ошибки, V - версия, I - тип, C - компонент, P - проект, D – описание.

Алгоритм метода анализа результатов регрессионного тестирования на основе предложенной модели включает следующие шаги (рис.2):

1. Получить все неудачные записи из QTest;
2. Отсортировать записи по количеству ошибок;
3. Кластеризация ошибок на системные и уникальные;
   a. получить текст ошибок из 2 записей;
   b. удалить из текста ошибки классы, типы и идентификаторы сущностей и прочие метаданные;
   c. проверить текст ошибки на идентичность системных ошибок;
   d. проверить текст ошибки на идентичность уникальных ошибок;

е. идентичные помещаются в объект задачи;

4. Предварительный анализ причин ошибок в тестах с применением продукционной модели представления данных [10] и логами сервисов;
5. Создать дефект на каждую группу ошибок в Jira.

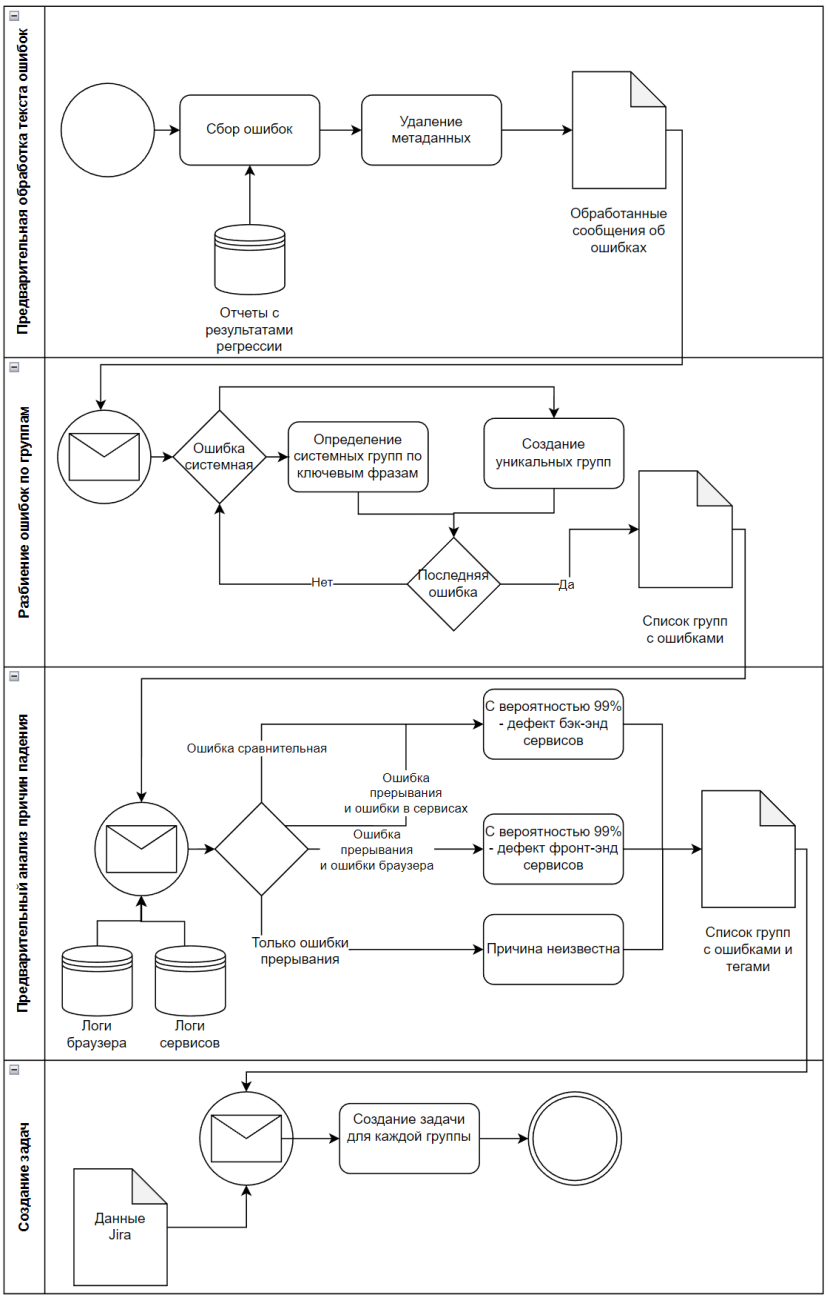


Рисунок 2 – Алгоритм метода анализа результатов регрессионного тестирования (в нотации BPMN 2.0)

Заключение

По итогам экспериментов с применением двух различных веб-приложений и фреймворков, отличающихся в структуре формирования сообщений об ошибке, было установлено, что в 80% случаев группы содержат корректный набор записей. То есть отсутствуют группы-дубликаты, а также все записи хранят схожее или одинаковое сообщение об ошибке. Данные группы формировались на результатах запусков регрессий для набора из 2000 тестов и порядка 300 ошибок в них. В зависимости от запуска, было сформировано от 20 до 50 дефектов, что существенно упростило процедуру анализа. Дальнейшая апробация нового подхода показала рост эффективности анализа регрессии:

1. уменьшение времени на анализ регрессии до 3 раз;
2. увеличение прозрачности процесса анализа помогло распределенным командам изменить приоритеты задач;

3. уменьшение временных затрат на организационную активность до 90%;
4. отсутствуют ситуации, когда несколько инженеров анализируют одну проблему в разных падениях и создание одинаковых дефектов;
5. отсутствуют пропущенные дефекты.

Литература

1. Гнеушев, В. А. , Кравец А. Г. Разработка интеллектуального ассистента для анализа уязвимостей корпоративной сети / В. А. Гнеушев // Сборник статей XLIX международной научно-практической конференции . – Москва : «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2022. – С. 178. – ISBN 978-5-6049082-5-9
2. Berkshire Hathaway: O'Reilly's Microservices Adoption in 2020 Report Finds that 92% of Organizations are Experiencing Success with Microservices. Источник: https://www.businesswire.com/news/home/20200716005101/en/O%E2%80%99Reilly%E2%80%99s-Microservices-Adoption-in-2020-Report-Finds-that-92-of-Organizations-are-Experiencing-Success-with-Microservices
3. S. Yoo and M. Harman. Regression testing minimisation, selection and prioritisation: A survey. — Softw. Test. Verif. Reliab. 2007 — с. 59.
4. QASymphony qTest Platform Review. Источник: https://www.business-software.com/product/qasymphony-qtest/
5. Jira – обзор сервиса. Источник: https://startpack.ru/application/jira
6. Как правильно реализовать Java-метод equals. Источник: https://coderlessons.com/articles/java/kak-pravilno-realizovat-java-metod-equals
7. Найти вхождения подстроки в строку в Java. Источник: https://www.techiedelight.com/ru/find-occurrences-of-substring-string-java/
8. Алгоритмы распознавания схожести текста в вопросно-ответных системах. / Источник: https://www.apni.ru/article/543-algoritmi-raspoznavaniya-skhozhesti-teksta
9. Исследование эффективности методов оценки релевантности текстов. Источник: https://keldysh.ru/papers/2020/prep2020_68.pdf
10. Баланова Л.А., Ющенко Е.В. Модели представления знаний: виды, применение, достоинства и недостатки // Материалы XII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» Источник: https://scienceforum.ru/2020/article/2018018540.

АНАЛИЗ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ФАЙЛОВЫХ СИСТЕМ

Семёночкин Д. О., Марков А. К., Кравец А. Г.
Волгоградский государственный технический университет
+7 (995) 421-45-46, semm0202@yandex.ru, anmark@list.ru, AllaGKravets@yandex.ru

В последние годы хранение файлов стало важнейшим аспектом инфраструктуры информационных технологий в организациях по всему миру, в том числе в России. Эффективное управление файлами и документами необходимо для повышения эффективности работы, сотрудничества и общей производительности. Однако процесс хранения и управления файлами в ИТ-компаниях может быть сложным, особенно в крупных организациях со сложной структурой. В этой статье мы рассмотрим популярную иерархическую организацию хранения файлов, выделим ее преимущества и недостатки.
Ключевые слова: файловые системы, хранение файлов, доступ к файлам

Analysis of the hierarchical model of organization of file systems. Semenochkin D.O., Markov A.K., Kravets A.G. Volgograd State Technical University.
In recent years, file storage has become a critical aspect of information technology infrastructure in organizations around the world, including Russia. Efficient file and document management is necessary to improve operational efficiency, collaboration, and overall productivity. However, the process of storing and managing files in IT companies can be complex, especially in large organizations with a complex structure. In this article, we will look at the popular hierarchical file storage organization, highlighting its advantages and disadvantages.
Keywords: file systems, file storage, file access

По мере роста организаций увеличивается и количество создаваемых ими файлов и документов, что затрудняет их эффективное управление и организацию. Без хорошо организованной системы управления файлами промышленные предприятия рискуют потерять ценные данные, столкнуться со сбоями в коммуникациях и поставить под угрозу свою безопасность.

Одна из основных причин налаживания эффективного управления файлами в промышленных предприятиях - повышение операционной эффективности. Благодаря структурированной и доступной организации файлов и документов сотрудники могут быстро находить то, что им нужно, и выполнять задачи более эффективно. Такая эффективность приводит к улучшению сотрудничества между инжиниринговыми командами и повышению производительности, что в конечном итоге ведет к улучшению результатов бизнеса.

Кроме того, эффективное управление файлами помогает промышленным предприятиям поддерживать безопасность данных. Без надлежащего управления файлами конфиденциальные данные могут быть потеряны, украдены или к ним могут получить доступ неавторизованные лица, что приведет к утечке данных и другим инцидентам безопасности. Внедряя хорошо структурированную систему управления файлами, промышленные предприятия могут контролировать, кто имеет доступ к определенной технологической и другой информации, и гарантировать, что их данные защищены от несанкционированного доступа.

Иерархическая организация хранения файлов — это распространенный подход, используемый во многих организациях для управления и организации файлов и документов. Этот подход предполагает создание многоуровневой древовидной структуры папок и подпапок, которая помогает группировать связанные файлы и документы вместе. Папки верхнего уровня содержат общие категории файлов, а вложенные папки содержат более конкретные категории файлов. На рисунке 1 показана древовидная структура (с корнем в верхней части) организации файлов.

В традиционных операционных системах, таких как Windows, Linux и macOS, иерархическая структура файлов представлена в виде древовидной структуры - самым высоким уровнем является корневой каталог, который содержит все остальные каталоги и файлы в системе. Каталоги, также известные как папки, содержат файлы и другие каталоги, которые могут быть вложены на несколько уровней вглубь. Например, каталог с именем "Документы" может содержать подкаталоги "Рабочие" и "Личные", каждый из которых может содержать дополнительные подкаталоги и файлы.

Операционные системы используют физические диски для хранения данных, но современные системы используют виртуальные диски, также известные как разделы, для доступа к физическим дискам. Основная цель виртуальных дисков - логически разделить физическое устройство хранения данных на отдельные области, которые можно использовать для хранения данных.

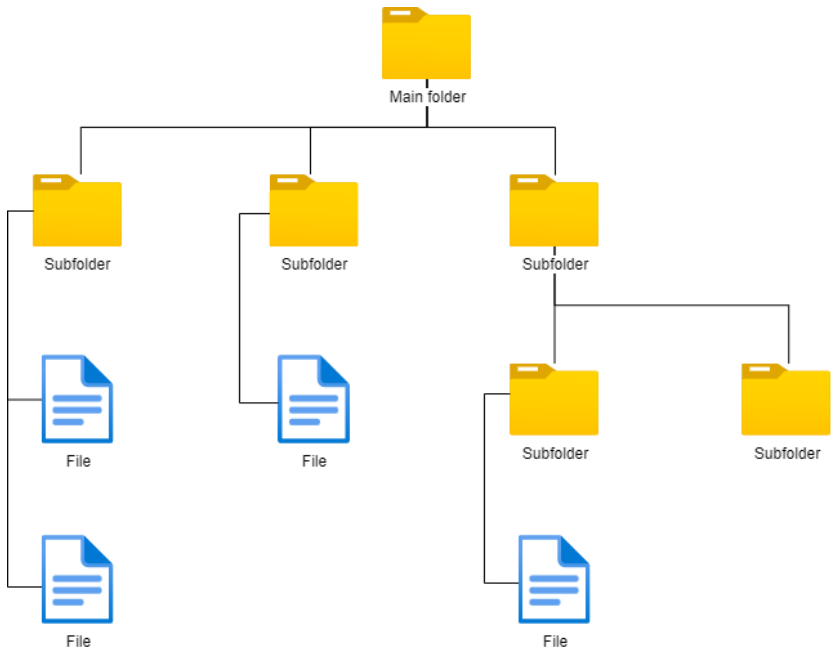


Рисунок 1 – Модель иерархической файловой системы

В операционных системах Windows наиболее распространенным способом организации виртуальных дисков является использование букв дисков, таких как C:, D:, E: и так далее. Диск C: обычно является основным диском, на котором хранится операционная система и другие системные файлы. Дополнительные диски, такие как D:, E: и так далее, могут быть добавлены для хранения данных и приложений.

В системах на базе Unix, включая Linux и macOS, виртуальные диски организованы по-другому, с использованием иерархии файловой системы. Корневой каталог, обозначаемый прямой косой чертой (/),

является каталогом верхнего уровня и содержит все остальные каталоги и файлы в системе. Вместо букв дисков в системах на базе Unix используются точки монтирования для подключения виртуальных дисков к иерархии файловой системы.

Вместо физической файловой системы облачные системы хранения данных, такие как Dropbox и Google Drive, используют виртуальные файловые системы, которые создаются поверх существующих файловых систем. Пользователи могут получать доступ к своим файлам и папкам и управлять ими через веб-интерфейс или клиентское приложение, а служба облачного хранения данных берет на себя все операции с файловой системой. При облачном хранении файлы и папки хранятся в центрах обработки данных на удаленных серверах, которыми управляет провайдер облачного хранения. Пользователи могут получить доступ к своим файлам и папкам с любого устройства с подключением к Интернету, что упрощает совместную работу с другими пользователями и работу с файлами из любого места.

Преимущества иерархического подхода к организации хранения файлов включают:

1. Простота: иерархическая файловая система проста и интуитивно понятна в использовании, большинство людей знакомо с концепцией вложенных папок. Это облегчает пользователям поиск и управление файлами и папками, повышая производительность и уменьшая разочарование.
2. Организация: иерархическая файловая система обеспечивает способ структурированной и логичной организации файлов и каталогов. Создавая иерархию папок и подпапок, пользователи могут группировать связанные файлы вместе, что облегчает их поиск и управление ими. Это может быть особенно полезно для организации больших объемов данных, например, в исследовательских или архивных целях.
3. Целостность и безопасность данных: иерархическая файловая система позволяет поддерживать целостность и безопасность данных, ограничивая доступ к определенным папкам или файлам. Пользователи могут обеспечить защиту конфиденциальной информации от несанкционированного доступа, что может быть особенно важно для предприятий или организаций, работающих с конфиденциальной информацией, такой как финансовые данные или персональная медицинская информация.
4. Кроссплатформенная совместимость: иерархическая файловая система в целом не зависит от платформы и широко поддерживается различными операционными системами и приложениями. Это означает, что файлы, организованные с помощью иерархической файловой системы, могут быть легко доступны другим пользователям, независимо от используемой ими операционной системы или программного обеспечения.

К недостаткам иерархического подхода относятся:

1. Навигация: при работе с большими или сложными каталогами документов иерархическая файловая система может затруднить навигацию и поиск конкретных файлов. При наличии нескольких уровней вложенных папок может быть сложно запомнить точное местоположение конкретного файла или папки, что приводит к потере времени и снижению производительности.
2. Избыточность и неэффективность: иерархическая файловая система может привести к избыточности и неэффективности хранения файлов. Например, если пользователь хочет хранить файл в нескольких местах для резервного копирования или совместной работы, он должен создать копии файла в каждой папке, что может привести к дублированию файлов, занимающих ненужное пространство для хранения.
3. Совместная работа: иерархическая файловая система может затруднить обмен файлами и совместную работу над документами. Если нескольким пользователям необходим доступ к одним и тем же файлам, им придется переходить по нескольким вложенным папкам, чтобы найти нужные документы, что может привести к путанице и ошибкам.
4. Разрешения доступа: иерархическая файловая система может затруднить управление разрешениями доступа для различных пользователей или групп. При наличии нескольких уровней вложенных папок может быть сложно обеспечить доступ определенных пользователей к нужным файлам и каталогам.

Взаимосвязь свойств иерархической файловой системы представлены на рисунке 2.

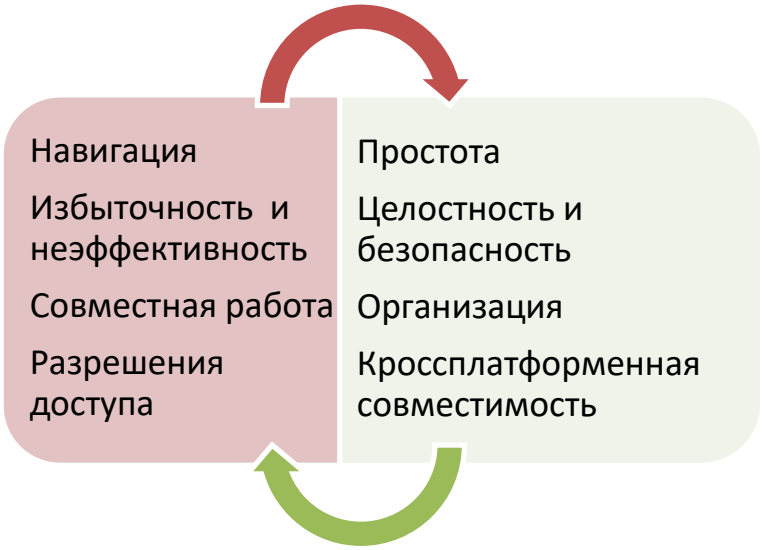


Рисунок 2 – Визуализация преимуществ и недостатков иерархической файловой системы

Заключение

Следует отметить, что иерархический метод организации файловой системы был преобладающим подходом в течение нескольких десятилетий, но он имеет определенные недостатки, которые могут препятствовать эффективному управлению файлами в современных промышленных предприятиях. Несмотря на свою простоту и способность обеспечивать целостность и безопасность данных [8], иерархическая структура может привести к проблемам навигации, избыточности и ограниченному сотрудничеству, особенно в больших и сложных каталогах документов.

В качестве решения унифицированная семантическая система хранения файлов, реализованная с помощью тегов, предлагает более гибкий и интуитивно понятный подход к организации и управлению файлами и каталогами. Эта система может преодолеть некоторые ограничения иерархической структуры, позволяя присваивать файлам описательные теги с ключевыми словами, что облегчает поиск и нахождение информации. Благодаря своему потенциалу для организации совместной работы и сокращения избыточности, единая семантическая система хранения файлов может значительно улучшить управление данными в промышленных предприятиях.

Литература

1. Kuszmaul B. C. et al. Everyone Loves File: Oracle File Storage Service //ACM Transactions on Storage (TOS). – 2020. – Т. 16. – №. 1. – С. 1-29.
2. Liu J. et al. File Systems as Processes //HotStorage. – 2019.
3. Ximing L. et al. Secure File Storage System Among Distributed Public Clouds //Cloud Computing and Security: 4th International Conference, ICCCS 2018, Haikou, China, June 8–10, 2018, Revised Selected Papers, Part III. – Cham: Springer International Publishing, 2018. – С. 277-289.
4. Yang P., Xiong N., Ren J. Data security and privacy protection for cloud storage: A survey //IEEE Access. – 2020. – Т. 8. – С. 131723-131740.
5. Wang T. et al. UniviStor: Integrated hierarchical and distributed storage for HPC //2018 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER). – IEEE, 2018. – С. 134-144.
6. Peng P., Soljanin E. On distributed storage allocations of large files for maximum service rate //2018 56th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton). – IEEE, 2018. – С. 784-791.
7. Poimanova E. D. Tatarnikova T. M. Hierarchical storage model //Conference on Wave Electronics and its Applications in Information and Telecommunication Systems (WECONF-2019), St. Petersburg, Russia, – 2019, – PP. 1-4, DOI: 10.1109/WECONF.2019.8840589.
8. Кравец, А. Г. Метод назначения прав доступа к приложениям в корпоративной мобильной сети / А. Г. Кравец, Н. А. Сальникова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2023. – № 1. – С. 71-82. – DOI 10.24143/2073-5529-2023-1-71-82. – EDN JBCFBM.

ТЕНЕВЫЕ БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ. РИСК И ПРОФИЛАКТИКА ВТОРЖЕНИЙ И НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА

ЗМорозов К.В.
БУ ВО «Сургутский государственный университет»
+7 (922) 419-04-32, Morozov_kv@edu.surgu.ru

Аннотация - В современном информационном обществе беспроводные технологии занимают центральное место, обеспечивая мобильность, доступность и связность. Однако рост беспроводных сетей приводит к появлению угроз, в том числе и созданию "теневых" беспроводных сетей с злонамеренными целями. Эта статья посвящена исследованию проблемы "теневых" сетей, их рисков и мерам по их выявлению и предотвращению.

Ключевые слова: беспроводные технологии, передача данных, несанкционированный доступ, профилактика рисков.

Shadow wireless networks. Risk and prevention of intrusion and unauthorized access. Morozov K.V., Surgut State University.

In today's information society, wireless technologies are central to mobility, accessibility, and connectivity. However, the growth of wireless networks leads to the emergence of threats, including the creation of "shadow" wireless networks with malicious purposes. This paper explores the problem of shadow networks, their risks, and measures to detect and prevent them.

Keywords: wireless technologies, data transmission, unauthorized access, risk prevention.

Введение

Главное отличие проводных сетей от беспроводных связано с абсолютно неконтролируемой областью между конечными точками сети [1].

В современной информационной эпохе, где беспроводные технологии прочно вошли в повседневную жизнь, беспроводные сети стали неотъемлемой частью нашей коммуникационной инфраструктуры. Они обеспечивают мобильность, высокую доступность и гибкость в обмене данными. Однако, параллельно с этим, распространение беспроводных сетей приносит в сферу информационной безопасности новые вызовы и угрозы. Одной из наиболее серьезных и хорошо скрытых угроз являются "теневые" беспроводные сети.

Беспроводная сенсорная сеть - распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала [2-5]. Область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров [6].

Понятие "теневых" беспроводных сетей обозначает скрытые и невидимые инфраструктуры, созданные злоумышленниками с целью проведения различных злонамеренных активностей. Эти сети, часто маскирующиеся под существующие легальные сети, позволяют злоумышленникам нарушать информационную безопасность, перехватывать конфиденциальные данные, проводить атаки на уязвимые устройства и подменять сетевой трафик.

Распространение "теневых" беспроводных сетей ставит под угрозу как личные данные, так и безопасность корпоративных и государственных сетей. В этом контексте важно не только понимать масштаб угрозы, но и разрабатывать эффективные стратегии обнаружения и предотвращения таких угроз, чтобы обеспечить целостность, конфиденциальность и доступность данных.

Постановка проблемы

Проблема методов обнаружения вторжений и способов борьбы с ними недостаточно исследована [7]. Главной проблемой, с которой сталкиваются организации и частные лица, является то, что "теневые" беспроводные сети могут существовать параллельно с официальными инфраструктурами, оставаясь вне поля зрения обычных инструментов мониторинга и безопасности. Создатели этих сетей искусно пользуются уязвимостями и слабыми местами в сетевой инфраструктуре, чтобы обеспечить свою незаметность. Они могут использовать частоты, которые редко применяются, выбирать места с минимальной защитой, и настраивать сети так, чтобы максимально приблизиться к легальным точкам доступа.

Эффективность "теневых" беспроводных сетей во многом обусловлена их незаметностью. Подмена сетевого трафика, перехват конфиденциальных данных, атаки на уязвимые устройства – все это входит в спектр возможных угроз. Скорость развертывания таких сетей и их сложность обнаружения усиливают риски для безопасности данных и инфраструктуры.

Следовательно, основной задачей данной статьи является исследование методов обнаружения "теневых" беспроводных сетей и разработка мер по их предотвращению. Путем анализа существующих

решений, изучения технических характеристик "теневых" сетей и определения наиболее эффективных методов защиты, необходимо подготовить руководство для борьбы с этой скрытой, но значимой угрозой в сфере информационной безопасности.

Методы обнаружения "теневых" сетей

В основе атак на беспроводные сети лежит перехват сетевого трафика точки доступа или трафика между двумя подключенными станциями [8].

Для обнаружения "теневых" беспроводных сетей существует ряд эффективных методов, которые могут быть успешно применены для выявления потенциальных угроз. Важно подчеркнуть, что данная задача требует комплексного и дифференцированного подхода, так как злоумышленники постоянно совершенствуют свои методы.

Одним из важных методов обнаружения «теневых» сетей является мониторинг частотного спектра. Этот метод позволяет проанализировать частотные диапазоны, в которых действует беспроводная сеть, и выявить наличие аномальных сигналов или частот, которые могут свидетельствовать о существовании "теневых" сетей. Злоумышленники, как правило, стремятся избегать использования стандартных частот, чтобы не быть обнаруженными, поэтому мониторинг частотного спектра необходим для выявления аномальной активности и своевременного принятия мер.

Ещё одним значимым методом является анализ сетевой активности. «Теневые» сети обычно демонстрируют отличное поведение от обычных, что может быть обнаружено через анализ трафика и активности в сети: аномально высокий или низкий трафик, странные запросы к сетевым ресурсам и активное сканирование сети – всё это может свидетельствовать о наличии "теневых" сетей. Алгоритмы анализа трафика и поведения сети позволяют выявлять даже мельчайшие аномалии, которые могли бы остаться незамеченными вручную.

Применение технологий машинного обучения становится всё более важным инструментом для обнаружения "теневых" сетей. Современные алгоритмы машинного обучения способны обрабатывать огромные объемы данных и выявлять даже самые сложные паттерны сетевой активности. Такие алгоритмы способны выявлять тонкие отклонения и аномалии, которые могли бы остаться незамеченными при ручном анализе. Автоматизация процесса обнаружения позволяет оперативно реагировать на потенциальные угрозы и минимизировать временные промежутки между обнаружением и реагированием.

Важно подчеркнуть, что успешное обнаружение "теневых" сетей требует не только применения отдельных методов, но и их интеграции в комплексную стратегию безопасности. Каждый метод имеет свои ограничения и возможности, и их совместное использование позволяет улучшить качество обнаружения и снизить вероятность ложных срабатываний.

Профилактика и защита от "теневых" сетей

Профилактика и защита от "теневых" сетей играют ключевую роль в обеспечении безопасности сетей от данной угрозы. Для того чтобы эффективно защищать сети, необходимо предпринять ряд мер, охватывающих как технические аспекты, так и обучение персонала:

1. Использование современных протоколов шифрования, таких как WPA3, является одним из первостепенных шагов к обеспечению безопасности беспроводных сетей. Эти протоколы обеспечивают более высокий уровень защиты передачи данных, что затрудняет злоумышленникам доступ к информации, передаваемой по сети.
2. Методы аутентификации на основе сертификатов, такие как EAP-TLS, также способствуют более надежной защите. Они позволяют установить взаимную аутентификацию между устройствами и точками доступа, исключая возможность несанкционированного подключения [9].
3. Настройка контроля доступа по MAC-адресам позволяет ограничивать доступ к сети только определенным устройствам, чьи MAC-адреса заранее разрешены. Это уменьшает вероятность создания "теневых" сетей, так как злоумышленникам будет сложно подключиться к сети с использованием несанкционированных устройств.
4. Создание политик безопасности является важной частью стратегии защиты. Закрепление запретов на использование открытых сетей, акцент на использование VPN-соединений и предоставление доступа только через официально утвержденные точки доступа помогает уменьшить вероятность создания "теневых" сетей.
5. Обучение пользователей и сотрудников о потенциальных угрозах "теневых" сетей и о правилах безопасного поведения в сети имеет важное значение. Пользователи должны уметь распознавать признаки "теневых" сетей, знать, как сообщать о подозрительной активности, и следовать установленным политикам безопасности [10-11]. В этот пункт также входит разработка и проведение тренингов, на которых персонал будет ознакомлен с последними методами атак и признаками "теневых" сетей, поможет создать "человеческую защиту" и своевременно реагировать на подозрительные события. Когда

безопасность становится приоритетом для каждого сотрудника и пользователя, вероятность несанкционированного действия снижается.

6. Регулярное обновление программного обеспечения сетевых устройств. Это одна из основных мер, которая помогает избежать использования уязвимостей для создания "теневых" сетей. Ведь злоумышленники часто ищут уязвимости в старых версиях программного обеспечения для своих атак. Постоянное обновление и совершенствование стратегий безопасности является обязательным фактором в борьбе с "теневыми" сетями.

7. Использование средств визуализации и мониторинга может значительно улучшить обнаружение и предотвращение "теневых" сетей. Системы, предоставляющие графическое представление активности сети и выявление аномалий, позволяют операторам быстро обнаруживать подозрительную активность и принимать меры.

Все эти меры необходимо рассматривать в контексте постоянного мониторинга и адаптации. Угрозы "теневых" сетей могут меняться и эволюционировать, поэтому необходимо регулярно обновлять и корректировать стратегии защиты в соответствии с новыми сценариями и методами атак. Регулярный анализ результатов и опыта, применение новых технологий и методов позволят поддерживать высокий уровень безопасности.

Заключение

Создание и использование "теневых" беспроводных сетей стало одним из наиболее актуальных вызовов в сфере информационной безопасности. В этой статье мы рассмотрели проблему "теневых" сетей, их риски и методы борьбы с этой скрытой угрозой. Осознание масштаба проблемы и разработка стратегий по её предотвращению являются важными шагами для обеспечения безопасности современных беспроводных сетей.

Анализируя методы обнаружения "теневых" сетей, мы видим, что комбинация различных подходов, включая мониторинг частотного спектра, анализ сетевой активности и применение технологий машинного обучения, позволяет более эффективно выявлять подозрительные сети. Это помогает оперативно реагировать на угрозы и минимизировать временные промежутки между обнаружением и реагированием.

Профилактика и защита от "теневых" сетей требует комплексного подхода. Использование современных протоколов шифрования, методов аутентификации на основе сертификатов и настройка контроля доступа – это лишь часть мер, направленных на предотвращение возникновения подобных угроз.

Обнаружение и уничтожения "теневых" беспроводных сетей является сложной и непрерывной задачей, однако современные технологии и методы безопасности предоставляют множество способов для эффективной борьбы с этой угрозой. Регулярное обновление знаний и практик по защите сетей позволит оставаться на шаг впереди потенциальных злоумышленников и обеспечить надежную информационную безопасность в мире, где беспроводные сети становятся неотъемлемой частью нашей коммуникационной инфраструктуры.

Литература

1. Хан Д.Э., Калбаев З.А., Шеримбай Ы.А., Жусипбекова Ш.Е. Анализ систем обнаружения вторения в беспроводной сети / г.Алматы: Казахский национальный медицинский униаверситет им. С.Д.Асфендиярова, 2015. – 117-122 с.

2. Кокоулин А.Н., Чураков Р.В. Иерархическая система обнаружения вторжений для беспроводных промышленных самоорганизующихся сенсорных сетей / г.Пермь: ПНИПУ, 2017. – 130-134 с.

3. Соколова О.Д., Шахов В.В., Юргенсон А.Н. Моделирование действия атак на беспроводные сенсорные сети / г.Новосибирск: НГТУ, 2017. – 835-840 с.

4. Финогеев А.Г., Нефедова И.С., Финогеев Е.А., Куанг В.Т., Ботвинкин П.В. Анализ и классификация атак через беспроводные сенсорные сети в SCADA системах / г.Пенза: Пензенский государственный университет, Вьетнам, г.Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2014. – 012-023 с.

5. Ковцур М.М., Коновалова В.В., Казаков Н.И. Разработка решения на базе протокола RPCAPD для удаленного анализа трафика с использованием облачных технологий / г.Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. Проф. М.А.Бонч-Бруевича, 2023. – 20-23 с.

6. Чураков Р.В., Кокоулин А.Н. Иерархическая система обнаружения вторжений для беспроводных промышленных самоорганизующихся сенсорных сетей / г.Пермь: ПНИПУ, 2018. – 349-354 с.

7. Юркин Д.В., Никитин В.Н. Системы обнаружения вторжений в сетях широполосного радиодоступа стандарта IEEE 802.11 / г.Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. Проф. М.А.Бонч-Бруевича, 2014. – 44-49 с.

8. Васильев В.И., Шарабыров И.В. Обнаружение атак в локальных беспроводных сетях на основе искусственного анализа данных / г. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2014. – 57-67 с.

9. Белетова Д.У., Молчанов А.Н. Использование стандарта IEEE 802.1x для защиты от НСД / 2017. - 6-15 с.

10. Коржук В.М., Бонковски П. Идентификация атак на беспроводные сенсорные сети на основе анализа аномального поведения сети / г.Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2018. – 83-85 с.

11. Мамхягов А.З., Тихонов Э.Е. Обнаружение вторжений в сетях стандарта 4G / г.Невинномысск: ФГАОУВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 2023. – 20-25 с.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ УМНОГО ГОРОДА

Бурый А.С.*, Ловцов Д.А.**
*Российский институт стандартизации, Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, Российской академии наук, **Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева Российской академии наук, Российский государственный университет правосудия.

Широкое внедрение информационных и коммуникационных технологий способствуют росту потребностей в обмене данными и информацией в обществе. Большое разнообразие рекомендательных систем сегодня может помочь пользователям понять и придать смысл определенным аспектам их городов, например, государственным службам, проводимым мероприятиям, транспорту.

Рекомендации в концепции «умный город» интересны тем, что позволяют перейти от рекомендаций по отдельным элементам или системам для одной предметной областью к рекомендациям с несколькими источниками данных, с участием многих заинтересованных сторон, многоуровневым процессом принятия решений, когда необходимы многомерные и комплексные подходы даже на уровне формирования рекомендаций. Такие системы могут стать основным строительным каркасом умных городов, за счет формирования баз данных и знаний — источника рекомендательных идей. Целью исследования является разработка концепции интегрированных рекомендательных систем умного города в рамках сложной предметной области на основе комплексного «ИКС»-подхода («информационно-кибернетически-синергетического») к анализу и структурной оптимизации подсистем умного города в условиях технологической конвергенции, направленных на повышение качества жизни граждан.

Ключевые слова: умный город, городское регулирование, рекомендательная система, «ИКС»-подход, конвергентные технологии.

Information interaction of smart cities functional subsystems. Buryi A.S.*, Lovtsov D.A.**

*Russian Standardization Institute; V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, ** S. A. Lebedev Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering of the Russian Academy of Sciences; Russian State University of Justice.

The widespread introduction of information and communication technologies contributes to the growth of the needs for the exchange of data and information in society. A wide variety of recommender systems today can help users understand and make sense of certain aspects of their cities, for example, public services, events, transport. The recommendations in the smart city concept are interesting because they allow you to move from recommendations on individual elements or systems for one subject area to recommendations with multiple data sources, with the participation of many stakeholders, a multi-level decision-making process, when multidimensional and integrated approaches are needed even at the level of recommendations formation. Such systems can become the main building frame of "smart cities", due to the formation of databases and knowledge — a source of recommendation ideas. The aim of the research is to develop the concept of integrated recommender systems of a smart city within a complex subject area based on an integrated "ICS"- approach ("information-cybernetic-synergetic") to the analysis and structural optimization of smart city subsystems in conditions of technological convergence aimed at improving the quality of life of citizens.

Keywords: smart city, urban regulation, recommender system, "ICS"-approach, convergent technologies.

Введение

Города образуют очень сложную, динамичную среду обитания. Растущая урбанизация во всем мире вынуждает города приспосабливаться к меняющимся обстоятельствам. Существует не только

потребность в планировании и эксплуатации городов и городских систем, но и в эффективном использовании огромного и постоянно растущего объема данных, генерируемого в формате 24/7 всевозможными источниками данных – датчиками, регистраторами, системами контроля и др.

Растущая инфраструктура города, доступность данных создают, с одной стороны, условия для создания новых организационно-технических систем (ОТС), реализующих модели информационного управления [1], а с другой стороны, позволяют развивать способы эффективного использования имеющихся массивов данных для решения задач выбора, принятия решений и ряда других. Городская среда создает объективные условия для совместного развития высокоэффективных информационно-кибернетических технологий (ИКТ), «выросших» за последнее время из обеспечивающих ресурсов в целевой механизм развития секторов управления, образования, безопасности, транспорта, здравоохранения и экономики [2, 3].

Дальнейшим направлением совершенствования методологической базы в концепции «умного города» предлагается интеграция ИКТ в рамках информационной структуры умного города на основе расширения предметной направленности «ИКС»-подхода (информационно-кибернетически-синергетического) [4, 5] в условиях *междисциплинарных* исследований и формирования функциональных подсистем умного города посредством фрактального расширения киберфизических элементов и систем (КФС) и технологической конвергенции [6]. Новые возможности КФС связаны с эволюцией технологий [6], мобильных и облачных вычислений, с достижениями аналитики больших данных, а также с оптимизацией информационных и структурных задач [7, 8], составляющих суть современной цифровой трансформации [9].

Решение проблемы

В парадигме устойчивого развития общества следует рассматривать устойчивость умного города, как сложную диссипативную систему [10] в условиях энергетических, информационных и материальных потоков, способную к самоорганизации, в процессе которой потоки (информационные, ресурсные) трансформируются и эффективно используются. Формируемые при этом данные учитывают основные параметры и структуры информационно-управляющих подсистем города, составляющих понятие *городского метаболизма* [7]. Многовариантность и альтернативность путей устойчивого развития обеспечивается на основе постоянного мониторинга состояния умного города и своевременного выявления противоположенных факторов кооперации и конкуренции при взаимодействии элементов самоорганизующейся диссипативной системы, обеспечивающих нелинейный и необратимый характер развития.

Нейро-, психо-, био-, социокибернетика — так назывались различные попытки выделить новый взгляд на роль информационных процессов в становлении метауровней сложности. Социологическая ветвь развивается сейчас наиболее интенсивно, осмысливая применительно к проблемам социума кибернетические модели и концепции, уникальные результаты когнитивной психологии, лингвистики, семиотики, искусственного интеллекта [7, 11].

Кибернетика и синергетика, изначально возникшие в области пересечения теоретического интереса различных наук, привели к качественно новому виду связности наук — междисциплинарности как новому канону постановки проблем. Во многом, благодаря ИКТ, стали возможны интенсивные кросс-научные исследования, подобные нейросетям, искусственной жизни, искусственному интеллекту, разумным средам, интернету вещей [6, 12]. Именно НБИК-конвергенция (или NBIC — от наименований рассматриваемых областей: N -нано; B -био; I -инфо; C -когнито) [13] существенно определяет облик современной научно-инженерной практики, когда в рамках конвергентной парадигмы любые узкодисциплинарные технологии сегодня соседствуют с гораздо более обширным научно-технологическим инструментарием, в сравнении с возможностями во времена линейного развития каждой специфической науки в отдельности. Следующим шагом стало появление в составе конвергентных технологий *социотехнологий*, и уже актуальна аббревиатура НБИКС [14]. Данные технологии на сегодняшний день вышли за рамки специальных областей знаний и стали частью современного социального контекста в силу своей междисциплинарности, которая предполагает достижение нового научного знания об объекте. В этой связи «ИКС»-подход можно рассматривать как наиболее общий взгляд на проблему исследования роли ИКТ в развитии научных знаний, как определенной методологической платформы, используя ее в качестве отправной точки в формировании многокритериальных, межпредметных, многоуровневых, многомерных, межотраслевых рекомендаций для организации функциональных структур умного города.

Рекомендательные системы уже неявно или явно обслуживают пользователей в городах, часто через определенные рекомендующие приложения: поиска местоположения (навигация), мест в гостиницах и билетов (туризм), продукции для совершения покупок (онлайн торговля), услуг социальных служб и ряд других [15]. Рекомендательную систему можно рассматривать и как способ фильтрации огромного количества доступных пользователю данных с учетом персональных предпочтений и контекста решаемой

задачи. Это отличает рекомендательные системы от ряда систем управления или поиска по запросу. Город представляет собой чрезвычайно сложный организм со своей инфраструктурой (искусственной средой), природной средой (флорой и фауной), техникой и, наконец, жителями, которые «пропускают через себя» в той или иной мере возможности города. Задача любого города, а умного города тем более, это давать людям возможность формировать свою ментальную модель или ментальную карту, чтобы любая ситуация (вопрос) были прозрачными и понятными для их разрешения, в том числе и на основании получаемых многочисленных данных.

Основная задача рекомендательной системы – во-первых, предоставить предложения пользователю, а во-вторых, помочь ему принять решение. В масштабе управления городом это может быть рекомендательная система подготовки и принятия решения (РСПР) по выбору оптимального плана действий, программы управления, составление дорожной карты и др. (на основании подсказок, формируемых, например, с учетом функций полезности). Таким образом, задача может формулироваться в следующем виде. Известно:

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ – множество из n пользователей РСПР, потенциальные рекомендующие условия, включая нормативные факторы;

$I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$ – множество из m элементов (объектов – товары, услуги), предлагаемых системой рекомендаций в широком спектре информационных форматов, рассчитанных на широкий круг пользователей.

Пусть $f: U \times I \rightarrow R$ – функция полезности, которая измеряет, насколько полезен элемент i для пользователя u, где R – полностью упорядоченный набор значений полезности или оценок (например, это могут быть неотрицательные целые или вещественные числа в определенном диапазоне). Тогда для каждого $u \in U$ целью РСПР является поиск такого элемента $i_u^* \in I$, не известного пользователю, который максимизирует функцию полезности:

$$i_u^* = \arg\max_{i \in I} f(u,i). \quad (1)$$

Разработка РСПР для решения задач городского планирования, улучшения качества жизни горожан в рамках стратегии устойчивого развития важная роль принадлежит сбору, интеллектуальному анализу и обработке данных (Data Science). При этом должны учитываться следующие особенности:

интеграция данных – с целью охвата различных источников данных и систем в зависимости от контекста решаемых задач, когда функция полезности расширяется контекстуальным множеством (C), т.е. $f: U \times I \times C \rightarrow R$, а также адаптивность данных в контексте пользователей и городской среды;

повышенная сложность – как внутрисистемная, так и коммуникационная (при многокритериальных или междисциплинарных рекомендациях);

ориентация на сценарные решения, т. е. на реальные (типовые) жизненные ситуации, включая проактивные рекомендации, из возможного их набора: местоположение, расписание, события, достопримечательности, продукты, транспорт, маршруты, виды деятельности и др.;

межпредметность: рекомендации могут поступать из нескольких подсистем умного города в зависимости от пользовательского контекста, или может потребоваться набор рекомендаций; так для областей $\mathcal{A}$ и $\mathcal{B}$ межпредметность приводит к расширению соответствующих множеств: $U_{\mathcal{A}} \cup U_{\mathcal{B}}$ и $I_{\mathcal{A}} \cup I_{\mathcal{B}}$;

заинтересованные стороны: РСПР должны ориентироваться на любых пользователей: разовых посетителей, детей, взрослых, пожилых людей, туристов, студентов, домовладельцев, предприятия и организации и другие;

индивидуальность целей – в государственных РСПР осуществляется дифференциация общей цели на подцели для удовлетворения индивидуальных потребностей пользователей из U;

алгоритмы: новые подходы, основанные на сценариях, междисциплинарности, могут потребовать других алгоритмов рекомендаций, выходящих за рамки известных парадигм;

вопросы конфиденциальности: разнообразие и объем данных, сетевые особенности их сбора, хранения и распространения, а также регистрация в сетевых РСПР, диктуют более жесткие требования к обеспечению их конфиденциальности.

На рисунке показана роль знаний в продвижении идей развития умного города. Формирование знаний основывается как на данных, получаемых в результате измерений на физическом уровне и преобразуемых в эргатических системах (в КФС, ОТС и других) в информацию, которая сознательно актуализируется, обобщается, систематизируется, структурируется, представляя собой проверенный практикой истинный результат познания, составляющий суть знаний. Открытые данные с датчиков и других подключений, относящиеся к структурным элементам умного города, используются в качестве информации для предоставления знаний городским разработчикам / планировщикам при принятии решений о том, как сделать города умнее.



Рисунок – Архитектура знаний умного города

Таким образом, можно представить архитектуру умного города в виде некоторой глобальной (соответствующего масштаба) цифровой среды с возможностями управления, интеграции, как по целям, так и по ресурсам (в общем случае любым) для предоставления городских функциональных сервисов с заданной эффективностью, производительностью, безопасностью и масштабируемостью. РСПР выступают связующим звеном, соединяющим физический мир с виртуальным, позволяющим умному городу извлекать выгоду из своей интеллектуальной инфраструктуры, основываясь на интеллектуальный анализ данных, методы мониторинга и контроля сенсорного поля систем снабжения города, транспортной инфраструктуры и других объектов города.

Заключение

Улучшение городов и обеспечение устойчивости представляют собой одну из главных задач, стоящих перед нами в ближайшие годы. Города можно сделать более пригодными для жизни, устойчивыми и понятными с помощью целого ряда мер. Их растущая сложность в сочетании с растущими объемами данных, доступом к информации и городскими возможностями открывают огромные возможности для развития инноваций, вовлечения граждан и применения интеллектуальных систем с интенсивным использованием данных.

Одним из важных факторов повышения эффективности данного развития может явиться комплексное методическое осмысление процессов рамках конвергентной парадигмы на основе выявления синергетических эффектов и процессов в результате сложного междисциплинарного взаимодействия информационных потоков с учетом возможностей искусственного интеллекта для создания альтернативных источников и форматов информации. Рекомендательные системы могут и должны помочь формировать городское будущее в соответствии с важными рекомендациями и опытом текущей реальной жизни.

Литература

1. Белов М.В., Новиков Д.А. Сетевые активные системы: модели планирования и стимулирования // Проблемы управления. — 2018. — № 1. — С. 47–57.
2. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационное взаимодействие функциональных подсистем умных городов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : Сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции, Сочи, 01–10 октября 2022 года / Под редакцией С.У. Увайсова. — М.: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2022. — С. 139–143.
3. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные технологии цифровой трансформации умных городов // Правовая информатика. — 2022. — № 2. — С. 4–13.
4. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем. — М.: РГУП, 2021. — 314 с.
5. Ловцов Д.А. Современная концепция комплексного «ИКС»-подхода к анализу и оптимизации правовых эргасистем // Правосудие. — 2020. — Т. 2. — № 1. — С. 59–81.
6. Лещев С.В. НБИК-конвергенция: стратагемы дифференцированного и синтетического развития нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий // Полигнозис. — 2014. — № 1-2(46). — С. 69–75.

7. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные структуры умного города на основе киберфизических систем // Правовая информатика. — 2022. — № 4. — С. 15–26.
8. Мокрова Н.В. Концептуальный подход к проблематике умных городов // Промышленное и гражданское строительство. — 2020. — № 7. — С. 32–40.
9. Бурый А.С. Облачные вычисления в цифровой трансформации информационных технологий // Правовая информатика. — 2021. — № 2. — С. 4–14.
10. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой. — М.: Едиториал УРСС, 2000. — 312 с.
11. Хиценко В.Е. Самоорганизация: Элементы теории и социальные приложения. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. — 224 с.
12. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. — М.: Эдиториал УРСС, 2002. — 352 с.
13. Roco M.C. Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine // Current opinion in biotechnology. — 2003. — 14(3). — P. 337–346.
14. Бешенков С.А., Шутикова М.И., Миндзаева Э.В. От информационных к конвергентным технологиям: образовательные аспекты // Преподаватель XXI век. — 2016. — № 4-1. — С. 86–93.
15. Иванова М.И. Систематизация государственных рекомендательных систем на основе мирового опыта // Право и управление. XXI век. — 2021. — Т. 17. — № 2(59). — С. 61–69.

НЕТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА КАК КАТЕГОРИАЛЬНЫЙ ФЕНОМЕН

Давтян А.Г.[1], Шабалина О.А.[2], Берестнева О.Г.[3]
[1]Московский физико-технический институт, [2]Волгоградский государственный технический университет,
[3]Томский политехнический университет
+7 (919) 795-89-43, O.A.Shabalina@gmail.com

Статья посвящена исследованию феномена кибернетики и его эволюции во временном и понятийном пространстве задач управления. Определен категориальный признак, различающий техническую и нетехническую кибернетики. Предложен метод нарративного управления в нетехнических системах, реализующий категориальные особенности нетехнической кибернетики.
Ключевые слова: кибернетика, управление, нетехническая кибернетика, нарративное управление.

Non-technical cybernetics as a categorial phenomenon. Davtian A.G.[1], Shabalina O.A.[2], Berestneva O.G.[3], [1]Moscow Institute of Physics and Technology, [2]Volgograd State Technical University, [3]Tomsk Polytechnic University

The article is devoted to the study of the phenomenon of cybernetics and its evolution in the temporal and conceptual space of problems of management. A categorical feature is defined that distinguishes technical and non-technical cybernetics. A method of narrative management in non-technical systems is proposed that implements the categorical features of non-technical cybernetics.
Keywords: cybernetics, management, non-technical cybernetics, narrative management.

Введение

Кибернетика как искусство управления, восходит к Древней Греции, что находит свое подтверждение в мозаиках, дошедших до наших дней (Рисунок 1).

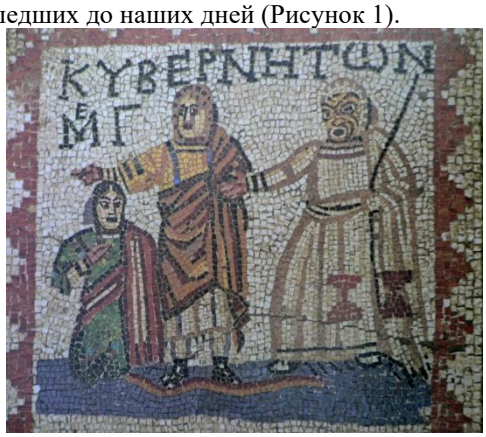


Рисунок 1 – Древнегреческая мозаика «Кибернетоны»

Впервые феномен кибернетики как науки об управлении государством был обозначен в середине XIX века А. Ампером, и через столетие сформулирован Н. Винером уже как «наука об общих закономерностях процессов управления и передачи информации в машинах, живых организмах и обществе». Одним из ключевых аспектов дальнейших исследований в сфере управления поведением систем стало изучение феномена кибернетики в различных предметных и временных контекстах.

В [1] проведен анализ исследований, посвященных феномену кибернетики, и выделены признаки, предлагаемые авторами исследований для различения решаемых кибернетикой задач. По временным периодам развития кибернетики различены кибернетика первого порядка как кибернетика наблюдаемых систем, и кибернетика второго порядка как кибернетика наблюдающих систем. По признаку отношения общества с информацией кибернетика разделяется на «классическую» и «новую». В «новой» кибернетике, в отличие от «классической» кибернетики, предлагается рассматривать информацию как построенную и восстановленную человеком, взаимодействующим с окружающей средой. По виду систем управления различены кибернетика управляемых (аллопоэтических) систем, и кибернетика управляющих (автопоэтических) систем. Исследования управляемых систем отнесены к кибернетике первого порядка, а исследования управляющих систем – к кибернетике второго порядка. При этом общество предлагается рассматривать как кибернетическую модель третьего порядка, которая имеет биологическую основу, но сама не является живой системой.

Более поздний подход к исследованию кибернетики основан на классификации систем с точки зрения объектов и субъектов управления на техническую, биологическую и социальную кибернетику. Известно также понятие антропная кибернетика, которая различает физические, биологические и социальные системы. Рассмотренные подходы классифицируют кибернетику по разным признакам, но принципы управления и механизмы их реализации в системах, определяющие способы достижения целей, в явном виде не включены в предмет исследования.

Современные исследования рассматривают кибернетику в контексте информационной фазы развития общества, феномен кибернетики изучается в ее связи с информатикой, анализируются проблемы информации в современной науке и ее роли в обществе и исследованию влияния информационного окружения на развитие общества. Исследования, посвященные организации управления в организационных системах, привели к появлению понятия «Кибернетика в менеджменте». Исследования в сфере кибернетики в менеджменте направлены на развитие методов управления бизнес-процессами с позиций общих кибернетических принципов, но с ориентацией на человеческий потенциал. «Кибернетика в организациях», как подраздел «Кибернетики в менеджменте» изучает возможности применения кибернетических принципов к управлению организацией, рассматриваемой как кибернетическая организация.

Постановка проблемы

В современных исследованиях, посвященных феномену кибернетики, кибернетика сама по себе рассматривается как метод решения задач управления в тех или иных предметных областях. Вместе с тем идея кибернетики связана с универсальной методологией представления о рассудочных действиях в чьих-то интересах. Суть такой методологии состоит в представлении о действиях как процессе, протекающем во времени и пространстве, финализирующим себя как цель, то есть виртуальное состояние в будущем. При этом предполагается наличие в настоящем носителя цели как причины, силы порождающей движение как необходимость изменений. Субъект управления, в концепции кибернетики, есть возникающая сила, как противоречие между наличествующем настоящим и мыслимым, виртуальным будущим. Объектом управления становится изменяемое настоящее. Цель становится причиной изменения настоящего, но не всякого изменения, а согласуемого с целью, эта соотнесенность цели и средства является принципиально важным атрибутом кибернетики как методологии осмысления движения, причинности и направленности. Направленность связана с временем как качеством, т.е. становлением иного из имеющегося. В этом отличие времени в кибернетике от времени в теории управления, где время выступает как счет, как количество совершаемых действий, связанных с выбором. Формой представления такой концепции являются дифференциальные уравнения, которые неразрывно связаны с управлением как выбором из существующего, а не становлением иного. Причинности в теории управления в отличии от кибернетики не соотносится с целью в процессе становления, так как причинность представлена пространством состояний. Необходимо понимание того обстоятельства, что кибернетика, в отличии от физики, связана с человеком и его осмысленными действиями. Физика же – это осмысление действий, не зависящих от наблюдателя. В физике человек – наблюдатель происходящего, в кибернетике человек – участник происходящего. Он сам устраивает то, что с ним происходит.

Управление, как действие имеет свою причину в форме цели и направлено на снятие причины, вызвавшей это действие, иначе говоря, достижение цели. Тем самым действие завершается, когда причина, вызвавшая действие, устраняется, то есть финализируется результатом. Принципы и методы финализации разрабатываются и изучаются в таких науках как Исследование операций, Методы оптимизации, Теория

игр, Теория расписаний, Теория информации и в различных вариантах их приложений. Место Кибернетики связано с постановкой задачи выбора, решение которой обсуждается уже конкретными науками. Таким образом к Технической кибернетики естественно отнести финализируемое управление. Ситуация, в которой действие не устраняет причину, а само является причиной себя, ситуация в которой управление не финализируемо, следует отнести к нетехнической кибернетике. Жизнь как действие не финализируема и ее целью является она сама. Именно нефинализируемость можно назвать нетехнической кибернетикой и фундаментальная цель, как причинность – это существование в будущем, которое выстраивается в настоящем. Будущее в настоящем присутствует как знак, как информация, определяющая другие знаки, определяющие действие. Совершаемое действие финализируется означиванием. Знак здесь как связь идеального, мыслимого, с реальным ощущаемым как существованием. Такой подход к пониманию нетехнической кибернетики как наблюдаемого настоящего непрерывно соотносимого с мыслимым будущим нашел свою реализацию в разработке принципов нарративного управления в динамическом пространстве целей.

Цели управления в нетехнической кибернетике представляют собой не столько онтологическую артикуляцию себя, сколько инструкцию по их непрерывному формированию, «инструкцией» к действиям ими провоцируемыми. Цели, как форма непрерывного присутствия будущего в настоящем, как силы, творящие действие, превращающее настоящее в прошлое, а будущее в настоящее. Таким образом существование, как смыслообразующий фактор управления представим в форме не глобальной цели, а временного ряда, временной последовательности финализируемых целей, финализацией которых являются новые цели. Будущее присутствует в настоящем как нарратив, повествующий о будущем в терминах настоящего, как способ бытия этого будущего. Сам нарратив присутствует как текст, требующий непрерывного продолжения, как многосерийный фильм, сценарий следующей серии пишется по мере развертывания текущей. Такая нарративная практика фактически «творит реальность». Здесь цель управления оказывается и причиной, и результатом деятельности. Если в технических системах существует риск недостижимости цели и потери смысла управления, то в нетехнической кибернетики смысл утрачивается вместе с гибелью системы.

В работе [2] предложен метод нарративного управления в нетехнических системах, отвечающий принципам нетехнической кибернетики. Нарративность, как способ организации управления, снимает проблему недостижимости целей, но обеспечивает необходимость существования управляемой системы через ее интегрируемость в процесс развития общества. Для моделирования управления как способа изменения состояния системы на пространстве целей применены методы универсальной алгебры, что позволяет формировать и динамически модифицировать пространство, и исчислять доступность целей и динамику их достижения в условиях взаимодействия с окружением [3,4]. Предложенная модель реализована в программном комплексе поддержки нарративного управления [5].

Заключение

Таким образом, в работе рассмотрены основные подходы к пониманию феномена кибернетики и его эволюции во временном и понятийном пространстве задач управления, и определен категориальный признак, различающий техническую и нетехническую кибернетики. Предложен метод управления в нетехнических системах, реализующий категориальные особенности нетехнической кибернетики.

Литература

1. Давтян А. Г., Шабалина О.А., Садовникова Н.П., Парыгин Д.С. Кибернетика как дискурс управления / ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - №2 (12). – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/kibernetika-kak-diskurs-upravleniya

2. Shabalina O. A., Davtian A. G., Sadovnikova N. P., Parygin D. S., Erkin D. A. Narrative-based management in socio-economic systems / International Conference ICT, Society and Human Beings 2017: part of the Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2017: Proceedings ed. by Piet Kommers; IADIS (International Association for Development of the Information Society). – Lisbon, 2017. – P. 73-79.

3. 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.

4. Еркин Д. А., Шабалина О.А. Декларативное описание структурных моделей систем / Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2016. – № 3 (182). – С. 36–40.

5. Шабалина О. А., Садовникова Н.П., Парыгин Д.С., Образцов Е. А., Рубанюк В. Н. Система поддержки нарративного управления в социально-экономических системах / Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 1. – Режим доступа: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_3_Shabalina_Sadovnikova.pdf_17937e01aa.pdf

ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЛЕНА ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ

Быстров С.В. Мирзавалиев Д.Б. Халмуратова Д.Ф.
НИТУ Московский институт стали и сплавов, Россия, Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического университета, Узбекистан

Аннотация – Селен, побочный продукт производства меди, имеет различные важные применения, в том числе в качестве микроэлемента для здоровья животных и в производстве полупроводников. Процесс получения селена из селенсодержащего медного продукта включает сбор остатка, концентрирование и очистку селена с использованием таких методов, как дистилляция, кристаллизация, химическая очистка и электролиз, и, наконец, извлечение очищенного селена в пригодную для использования форму. Селен широко используется в производстве полупроводников, в частности в производстве фотогальванических элементов и фотоприемников, благодаря его высокой эффективности, чувствительности и малому времени отклика. Селеновые солнечные элементы обладают высокой эффективностью и обычно используются в солнечных панелях и портативных солнечных зарядных устройствах, а селеновые фотодетекторы идеально подходят для высокоскоростной оптической связи и систем обработки изображений. Хотя селен не является наиболее часто используемым материалом в микроэлектронике, его уникальные свойства делают его ценным для некоторых приложений.

Ключевые слова: Дистилляция, конденсацию, кристаллизация, электролиз, восстановления, полупроводник, фотоэлектрических, солнечные элементы, фотогальванике.

Obtaining and using high purity selenium. Bistrov S.V. Mirzavaliyev D.B. Xolmuratova D.F., The National University of Science and Technology MISIS, Russia, Almalyk branch of Tashkent State Technical University, Uzbekistan

Abstract – Selenium, a by-product of copper production, has various important uses, including as a trace element for animal health and in semiconductor manufacturing. The process of obtaining selenium from a selenium-containing copper product involves collecting the residue, concentrating and purifying the selenium using methods such as distillation, crystallization, chemical cleaning, and electrolysis, and finally extracting the purified selenium into a usable form. Selenium is widely used in the production of semiconductors, specifically in the production of photovoltaic cells and photodetectors, due to its high efficiency, sensitivity, and fast response time. Selenium solar cells have high efficiency and are commonly used in solar panels and portable solar chargers, while selenium photodetectors are ideal for high-speed optical communications and imaging systems. Although selenium is not the most commonly used material in microelectronics, its unique properties make it valuable for certain applications.

Keywords**:** Distillation, condensation, crystallization, electrolysis, recovery, semiconductor, photovoltaic, solar cells, photovoltaics.

Селен является побочным продуктом производства меди и обычно получается в виде остатка в процессах рафинирования меди. Этот элемент имеет несколько важных применений, начиная от использования в качестве микроэлемента для здоровья животных и заканчивая его использованием в производстве полупроводников. В этой статье мы предоставим общий обзор этапов получения селена из селенсодержащего продукта производства меди, а также его различных применений и преимуществ.

Согласно отчету Геологической службы США за 2021 год, средняя цена металлического селена с уровнем чистоты 99,5% составляла около 22,40 долларов за килограмм, а средняя цена на селен высокой чистоты (99,99% и выше) составляла примерно 77,70 долларов за килограмм. килограмм. Это указывает на то, что сверхчистый селен примерно в 3,5 раза дороже, чем селен с чистотой 99,5%.

Цена на селен может колебаться в зависимости от различных факторов, таких как спрос и предложение, себестоимость производства и глобальные экономические условия. В последние годы цена на селен была относительно стабильной, с небольшими колебаниями. Однако в 2018 году цены на селен резко выросли из-за нехватки предложения, вызванной закрытием одного из крупнейших в мире производителей селена, Nantong Huayuan Selenium Chemical Co., в Китае.

Стоит отметить, что цены на селен могут существенно различаться в зависимости от поставщика и заказываемого количества. Например, большее количество заказанного селена может привести к более низкой цене за единицу из-за эффекта масштаба. Кроме того, стоимость доставки и доставки также может повлиять на общую цену селена.

Сверхчистый селен обычно дороже, чем селен с чистотой 99,5%, при этом разница в текущей цене примерно в 3,5 раза выше. Однако цена на селен может колебаться в зависимости от различных рыночных факторов, поэтому при оценке стоимости селена необходимо учитывать все соответствующие факторы.

Основными промышленными источниками селена служат шламы, образующиеся при электролитической очистке анодов меди. Медные шламы содержат 5-25 % Se в виде соединений с благородными металлами. Общее производство селена оценивается в ~2500 т/год (по некоторым оценкам - до 3500 т/год) — это маленький по мировым меркам рынок. Цифры не могут претендовать на высокую точность - из~80 медерафинировочных предприятий в мире только ~ 20 информируют о том, что получают Se либо собирают шламы для его извлечения .

Для полупроводниковой техники требуется селен особой степени чистоты. Согласно техническим требованиям на селен высокой чистоты, содержание алюминия, галлия, железа, индия, кобальта, мышьяка, натрия, серы и теллура должно быть не более $1 \cdot 10^{-4}\%$ каждого; содержание суммы всех других примесей — не более $1 \cdot 10^{-5}\%$.

Особенно нежелательны в селене примеси мышьяка, ртути, висмута, меди, никеля, теллура и серы.

Примеси многих металлов в виде селенидов даже в малых концентрациях (0,01% ат.) вызывают ослабление выпрямляющего действия селеновых выпрямителей. Например, медь и никель резко понижают коэффициент выпрямления. Наоборот, при добавлении к селену галогенов (до 15%) и галлия улучшаются характеристики выпрямителей. Чистый селен получают очисткой технического селена. Технический селен содержит 99-97,5% Se; 0,02% Fe; 0,008% Cu; 0,005% Pb; 0,01% Hg; 0,1% Te; 0,01% As; 0,05% S .

Сбор селенсодержащего продукта. Первым этапом получения селена является сбор селенсодержащего продукта, который обычно представляет собой остаток, образующийся при рафинировании меди. Этот остаток содержит смесь элементов, включая селен, и должен быть дополнительно обработан для концентрирования и очистки селена.

Концентрация и очистка селена. Следующим шагом является концентрирование селена путем отделения его от других элементов, присутствующих в остатке. Очистка селена важна для получения продукта высокой чистоты для различных применений. Существует несколько методов очистки селена, в том числе:

1. Дистилляция. Дистилляция является распространенным методом очистки селена. Он включает в себя нагревание селена до точки кипения, что приводит к его испарению, а затем конденсацию пара обратно в жидкую форму. Процесс можно повторять несколько раз для достижения высокой чистоты металла.
2. Кристаллизация. Кристаллизация — еще один метод очистки селена. Он включает растворение селена в растворителе, а затем охлаждение раствора до образования кристаллов. Затем кристаллы отделяют от растворителя и промывают для удаления любых примесей.
3. Химическая очистка. Химическая очистка включает использование химических реакций для удаления примесей из селена. Например, такие примеси, как сера, можно удалить путем взаимодействия селена с перекисью водорода.
4. Электролиз — это метод, в котором для очистки селена используется электрический ток. Процесс включает растворение селена в растворе и пропускание электрического тока через раствор, в результате чего селен осаждается на катоде в чистом виде.

Важно отметить, что конкретный используемый метод очистки будет зависеть от требований к чистоте селена и конкретных примесей, присутствующих в продукте. В некоторых случаях для достижения желаемого уровня чистоты может потребоваться комбинация нескольких методов.

Извлечение селена. Заключительным этапом является извлечение очищенного селена в пригодную для использования форму, такую как металл или химическое соединение. Это можно сделать путем восстановления оксидов селена до элементарного селена или путем образования соединений селена, таких как селенаты или селениты.

Селен используется во многих отраслях промышленности и технологии благодаря своим полезным свойствам, таким как полупроводниковые, фотоэлектрические и катализирующие свойства. Ниже перечислены некоторые области применения чистого селена:

1. Производство полупроводников: Селен используется для производства полупроводниковых приборов, таких как фотодиоды, транзисторы и солнечные батареи. Селен обладает полупроводниковыми свойствами, что позволяет ему работать в качестве материала, из которого производятся электронные компоненты.
2. Фотография: Селен используется в производстве фотографических пленок и бумаги. В фотографической индустрии селен используется в качестве чувствительного элемента в фотоэлементах, которые преобразуют свет в электрический ток.
3. Производство стекла: Селен используется для улучшения оптических свойств стекла. Он может добавляться в стеклянную массу, чтобы улучшить ее прозрачность, стойкость к коррозии и другие свойства.
4. Производство керамики: Селен используется в качестве пигмента в производстве керамических изделий. Он может быть добавлен в глазури для придания им желтого или оранжевого цвета.

5. Косметика: Селен используется в качестве ингредиента в косметических средствах для улучшения состояния кожи и волос. Он может помочь увлажнить и осветлить кожу, а также смягчить волосы.
6. Производство лекарств: Селен используется в качестве компонента в некоторых лекарствах. Он может помочь снизить воспаление, улучшить иммунную функцию и уменьшить риск сердечно-сосудистых заболеваний.
7. Производство сплавов: Селен может быть добавлен в сплавы для улучшения их прочности и стойкости к коррозии.

Основные области применения селена. Селен используется в производстве некоторых типов полупроводников. Это химический элемент, который является хорошим полупроводником и обладает свойствами, которые делают его полезным в производстве определенных типов электроники, в частности, в производстве фотогальванических элементов. В фотоэлектрических элементах селен используется в качестве основного материала для производства селеновых солнечных элементов. Селеновые солнечные элементы работают, поглощая солнечный свет и преобразовывая его в электрическую энергию посредством фотогальванического эффекта.

В производстве фотогальванических элементов селен используется в качестве основного материала для производства селеновых солнечных элементов. Селеновые солнечные элементы работают, поглощая солнечный свет и преобразовывая его в электрическую энергию посредством фотогальванического эффекта. Этот процесс происходит, когда солнечные фотоны переводят электроны в более высокое энергетическое состояние, позволяя им течь через материал и генерировать ток. Селеновые солнечные элементы известны своей высокой эффективностью и широко используются в различных системах возобновляемой энергии, включая солнечные панели и портативные солнечные зарядные устройства.

Помимо использования в фотогальванике, селен также используется в производстве фотодетекторов, которые представляют собой устройства, преобразующие свет в электрический сигнал. Фотодетекторы используются в самых разных приложениях, включая системы оптической связи, системы формирования изображений и датчики излучения. Фотодетекторы из селена известны своей высокой чувствительностью и малым временем отклика, что делает их идеальными для использования в высокоскоростных оптических системах связи и системах обработки изображений.

Стоит отметить, что хотя селен широко используется в производстве полупроводников и фотогальванических элементов, он не является наиболее часто используемым материалом в производстве микроэлектроники. Таким материалом является кремний из-за его большей распространенности и низкой стоимости. Однако селен обладает некоторыми уникальными свойствами, которые делают его полезным в определенных приложениях, особенно в фотогальванике и фотодетекторах, где высоко ценятся его высокая проводимость и способность эффективно преобразовывать свет в электрический сигнал.

Литература

1. Naumov A.V. A survey of the world market for selenium and tellurium (the economic of selenium and tellurium) // Russ.
2. J. Non-Ferr. Metals. 2006. Vol. 47, № 4. P. 18—26. US Geological Survey Publications // http://minerals. usgs. gov.
3. Yunting Wanga , Yudong Xueb , Junling Sub , Shili Zhengb , Hong Leic , Weiquan Caid , Wei Jinb. Efficient electrochemical recovery of dilute selenium by cyclone electrowinning., Received 2 February 2018; Received in revised form 8 April 2018; Accepted 19 May 2018
4. Guozheng Zhaa, Yunke Wangb, Minqiang Chengb, Daxin Huang, Wenlong Jiang , Baoqiang Xua, Bin Yang . Purification of crude selenium by vacuum distillation and analysis. Available online 1 February 2020J MATER RES TECHNOL. 2020;9(3):2926–2933

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОМЕХ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ АВТОМОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ МОДУЛЯЦИИ

Герасимов Д.С., Яшина М.В.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
+7 (926) 383-07-40, conf@diag.ru

Статья посвящена исследованию влияния периодических помех при различных схемах модуляции, действующих в системах автомобильных сетей. Основной проблемой при получении и обработке данных, поступающих на распределительные станции связи являются помехи и шумы, которые

могут возникать в результате динамического изменения количества различных устройств в зоне её действия. Помехи возникают в разные моменты времени, притом их уровень может быть высоким, что негативно влияет на работу всей системы.

Ключевые слова: периодические помехи, автомобильные сети, надежность, ошибка, модуляция.

Investigation of the impact of periodic interference in communication systems of automobile networks with various modulation schemes. Gerasimov D.S., Yashina M.V Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI).

This paper is devoted to the study of the influence of periodic interference with various modulation schemes operating in automotive network systems. The main problem in receiving and processing data received at communication distribution stations is interference and noise that can occur as a result of dynamic changes in the number of different devices in its area of operation. Interference occurs at different times, and their level can be high, which negatively affects the operation of the entire system.

Keywords: periodic interference, car networks, reliability, error, modulation.

Введение

В эпоху активного развития информационно-коммуникационных систем важное место занимают системы передачи, обработки и хранения информации. Внедрение беспроводных технологий позволяет передавать данные на большие расстояния без использования проводов и других инструментов. Уже к 2035 году в России на повсеместной основе будет введена эксплуатация сетей типа 5G и 6G, и развитие на этом не остановится [5]. Однако, любой сети необходима быстрая, качественная и достоверная информация, которая будет приходить в центр обработки данных или на распределительные станции связи.

При передаче информации с одного устройства на другое, данные, которые необходимо передать, будут претерпевать воздействие на них различных помех таких, как белый шум, который является естественным в любой среде обитания, помехи от других устройств в радиусе действия передаваемого сигнала и другие. Периодические помехи возникают в результате появления сразу нескольких устройств на небольшой площади действия распределительной станции. При этом уровень помех, действующий на сигнал, зависит от многих факторов, таких как количество пользователей, мощность передачи и расстояние между станциями. Притом сам сигнал может прийти сразу на несколько из них. В данной работе оценивается влияние периодических помех на системы автомобильной связи для различных схем модуляции, для определения наиболее эффективной из них. Это становится особенно актуальным в связи с развитием беспилотного транспорта.

Постановка проблемы

При передаче данных по каналу связи возникают замиранию, которые оказывают воздействие на значение мощности сигнала. При проведении анализа необходимо определить среднее значение отношения сигнал-шум, так как чем выше уровень шума, тем ниже скорость передачи данных и хуже пропускная способность. Скорость передачи должна быть выше некоторого уровня, при котором канал может еще обслуживаться. Для этого введем вероятность того, что отношение сигнал шум ниже порога γ_l[1]:

$$P_O(\gamma_l) = Pr(\Gamma \le \gamma_l) = \int_0^{\gamma_l} p_\Gamma(\gamma) d\gamma \ . \quad (2)$$

Вероятность ошибки системы связи обычно является функцией, зависящей от соотношения сигнал-шум. Если это значение случайное, то средняя вероятность ошибки определяется как[1]:

$$P_O(\bar{\gamma}) = \int_0^{\infty} P(E|\gamma) p_\Gamma(\gamma) d\gamma \ , \quad (3)$$

в котором P(E|γ) — вероятность ошибки символа или вероятность ошибки бита, обусловленная определенным значением γ.

В зависимости от используемой функции условной вероятности $P_E(\bar{\gamma})$ будет средней вероятностью ошибки символа или средней вероятностью ошибки бита. Интервал интегрирования определяется только для положительных значений, поскольку отношения сигнал-шум всегда положительно.

Характеристики систем цифровой модуляции

На практике используется несколько основных видов цифровой модуляции, таких как BPSK, QPSK, M-ASK, M-QAM, M-PSK, TCM и другие их подвиды, которые используются в различных системах. Каждая из них имеет свои особенности и выражения для вероятностей ошибки. Будем предполагать, что сигнал обнаруживается идеально и когерентным образом, притом, что его передача и приём синхронизированы по фазе.

Периодические помехи возникают в системах связи, когда большое количество пользователей, находясь на участке небольшой площади, передают данные на станцию связи [2]. Это могут быть звонки с мобильных устройств, передача данных систем жизнеобеспечения города и, что более существенно,

может для автомобильных дорог, информация о состоянии каждого транспортного средства на данном участке дороги, находящем внутри этого участка. В таком случае, периодические помехи могут быть смоделированы как нестационарный стохастический процесс, который представляет случайные уровни мощности во времени. Тогда постановка задачи может быть изменена на моделирования преодоления помех сигналом на основе стохастического дифференциального уравнения.

Периодическая помеха может быть проанализирована с помощью стохастической интеграции. Тогда мощность таких помех определяется, как:

$$p_{W(w)} = \frac{1}{w\,\sigma\sqrt{2\,\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{ln\,(w)-ln\,(P_0)}{\sigma}\right)^2}\ , \tag{4}$$

в котором P_0 представляет наблюдаемую мощность в начале интервала наблюдения. Кумулятивная функция вероятности определяется выражением:

$$\mathrm{P_{W(w)}} = \begin{cases} 0, n < 0; \\ 1 - Q\left(\frac{\ln(w)-\mu}{\sigma}\right), n \geq 0 \end{cases} \tag{5}$$

Для простоты небольшой белый гауссовский шум не принимается во внимание, поскольку это стационарный процесс с постоянной мощностью. Чтобы проанализировать только эффект от периодических помех, рассматривается канал с единичным усилением без затухания. Следовательно, принятый сигнал равен r(t) = s(t) + i(t), где s(t) и i(t) представляют переданный сигнал и помеху соответственно.

Отношение сигнал-шум определяется как $\Gamma(\mathrm{t}) = \frac{S}{W(t)}$, где S — постоянная мощность сигнала, а W(t) — случайный процесс, моделирующий мощность периодических помех. В этом случае распределение вероятности можно представить как:

$$p_{\Gamma}(\gamma) = \frac{p_W(S/\gamma)}{|d\gamma/dw|} = \frac{1}{\gamma\sigma\sqrt{2\pi}}\gamma\sigma e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{ln\gamma-ln\gamma_0}{\sigma}\right]^2}\ , \tag{6}$$

в котором $\gamma_0 = \frac{S}{P_0}$ представляет отношение сигнал-шум, наблюдаемое в начале интервала измерения.

Данное соотношение имеет общий вид. Для каждой схемы модуляции вероятность ошибки системы может выглядеть по-разному. Мы будем рассматривать среднюю вероятность ошибки символа для каждой из систем.

1) Для BPSK среднюю вероятность можно найти, как:

$$P_s(\overline{\gamma_s}) = \int_0^{\infty} P_{B\,P\,S\,K}(\gamma_s)\,p_{\Gamma}(\gamma_s)d\gamma_s = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\sum_{i=1}^{n}\omega_i Q\left(\sqrt{2e^{\sigma x_i+ln\gamma_{0(s)}}}\right). \tag{7}$$

2) Для QPSK средняя вероятность ошибки имеет вид:

$$P_s(\overline{\gamma_s}) = \int_0^{\infty} P_{QP\,S\,K}(\gamma_s)\,p_{\Gamma}(\gamma_s)d\gamma_s = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\sum_{i=1}^{n}\omega_i\left[2Q\left(\sqrt{e^{\sigma x_i+ln\gamma_{0(s)}}}\right) - Q\left(\sqrt{e^{\sigma x_i+ln\gamma_{0(s)}}}\right)\right]. \tag{8}$$

3) Приведем ещё выражение для M-QAM:

$$P_s(\overline{\gamma_s}) = \int_0^{\infty} P_{MQAM}(\gamma_s)\,p_{\Gamma}(\gamma_s)d\gamma_s = \frac{4}{\sqrt{2\pi}}\sum_{i=1}^{n}\omega_i\left[\left(1-\frac{1}{\sqrt{M}}\right)Q\left(\sqrt{\frac{3}{M-1}e^{\sigma x_i+ln\gamma_{0(s)}}}\right) + \left(1-\frac{1}{\sqrt{M}}\right)^2 Q^2\left(\sqrt{\frac{3}{M-1}}\right)e^{\sigma x_i+ln\gamma_{0(s)}}\right]. \tag{9}$$

Большинство систем связи используют модуляцию M-QAM. Для M = 4 вероятности ошибки как битовые, так и символьные такие же, как в схеме QPSK. Для общего случая, когда M ≥ 4 [3]:

$$P_{MQAM}(\gamma_s) = 4\left[\left(1-\frac{1}{\sqrt{M}}\right)Q\left(\sqrt{\frac{3\gamma_s}{M-1}}\right) + \left(1-\frac{1}{\sqrt{M}}\right)^2\sum_{i=0}^{\sqrt{M}/2-1}Q^2\left(\sqrt{\frac{3\gamma_s}{M-1}}\right)\right] \tag{10}$$

4) Для M-PSK при M > 4 выражение представлено в следующем виде:

$$P_s(\overline{\gamma_s}) = \int_0^{\infty} P_{MPSK}(\gamma_s)\,p_{\Gamma}(\gamma_s)d\gamma_s = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\sum_{i=1}^{n}\omega_i Q\left(\sqrt{2e^{\sigma x_i+ln\gamma_{0(s)}}}\ \sin\frac{\pi}{M}\right) \tag{11}$$

Для подтверждения точности представленных выражений было проведено компьютерное моделирование методом Монте-Карло для систем BPSK, QPSK и M-QAM при M = 64. Моделирование проводилось при варьировании значений параметра σ.

Для каждой смоделированной точки рассматривалось 1000 событий прерывания из-за ошибки для случая отключения или 1000 событий ошибки символа для расчета средней вероятности ошибки символа для схем, BPSK, QPSK, 16-PSK и 64-QAM. При моделировании помехи моделируются как гауссов сигнал со случайной дисперсией с логарифмически нормальным распределением.

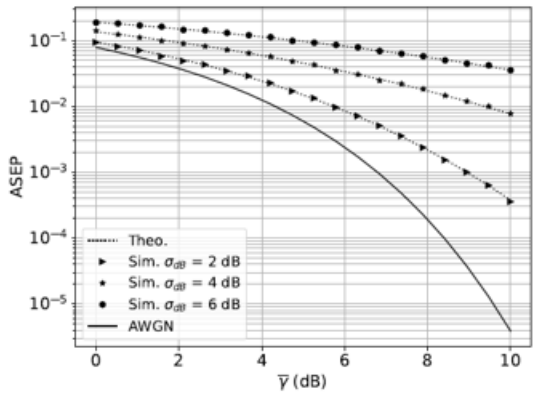


Рисунок 1 - Кривые средней вероятности ошибки символа для системы QPSK при различных значениях σ_{dB}

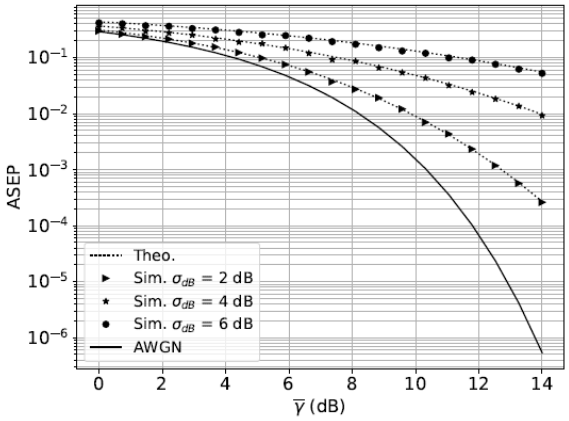


Рисунок 2 - Кривые средней вероятности ошибки символа для системы BPSK при различных значениях σ_{dB}

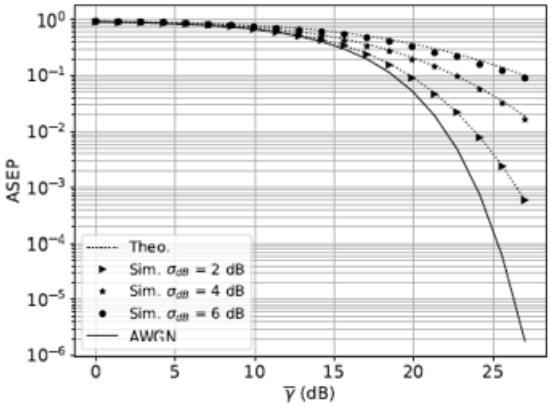


Рисунок 3 - Кривые средней вероятности ошибки символа для системы M-QAM при M = 64 при различных значениях σ_{dB}

Эффект периодической помехи в системе BPSK показан рис. 1. Кривые средней вероятности ошибки символа для BPSK при сравнении различных значений параметра помехи σ_{db} децибел (σ_{dB}= σ ln 10/10). Отдельно приведена кривая при действии белого гауссовского шума на всех графиках.

Можно заметить, что периодические помехи увеличивают вероятность ошибки канала. Кроме того, более высокие значения σ_{dB} приводят к более высокой частоте ошибок.

Кривые ASEP (кривая средней вероятности ошибки символа) для системы QPSK представлены на рисунке 2 для различных значений σ. Как и в случае с BPSK, периодические помехи увеличивают частоту ошибочных символов.

Теоретические и смоделированные кривые для системы 64-QAM представлены на рисунке 3. Как и в предыдущих случаях, увеличение σ_{dB} увеличивает вероятность ошибки.

Заключение

В этой статье представлена математическая модель для расчета производительности цифровой системы связи, которая включает эффект накопления помех, вызванный внезапным увеличением числа пользователей в цифровой системе. Это приводит к логарифмически нормальному распределению помех. При расчётах использованы выражения для вероятности отказа, а также для вероятности ошибки схем модуляции BPSK, QPSK, M-PSK и M-QAM и других.

С помощью этих выражений было проверено, что периодические помехи увеличивают частоту ошибок для всех схем модуляции. Для представленных результатов периодические помехи увеличивают вероятность ошибки даже для случаев с высоким отношением сигнал-шум. Также наблюдается увеличение вероятности выхода из строя анализируемых систем. В некоторых случаях система может выйти из строя, что влияет на производительность каналов и сети, которая может оказать влияние на работу транспортной сети.

Литература

1. G. L. Stuber, Principles of Mobile Communication, 4th ed. Springer, 2017.
2. J. E. Cordeiro, M. S. Alencar, M. V. Yashina, and A. G. Tatashev, “Effect of epidemic interference on the performance of digital communication systems,” in 2021 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2021, pp. 1–6.
3. J. Proakis and M. Salehi, Digital Communications. McGraw-Hill, 2008.
4. M. K. Simon and M.-S. Alouini, Digital Communication over Fading Channels. John Wiley & Sons, 2005, vol. 95.
5. Проект стратегии развития отрасли связи Российской федерации на период до 2035 года, Москва, Август, 2023

НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА

Калигин Н.Н., Увайсов С.У.*
«Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»), *МИРЭА – Российский технологический университет
+7 (965) 195-63-55, nkaligin@yandex.ru

Данная статья рассматривает текущее состояние и будущие перспективы беспилотного транспорта, обращая внимание на ведущие страны и компании, занимающихся исследованиями и разработками в этой области. Статья подчеркивает роль США и Китая как главных лидеров в разработке беспилотных автомобилей, а также рассматривает активность компаний в Европе и России. Важные аспекты, такие как тестирование, регулирование и законодательство, также обсуждаются в контексте массового применения беспилотных автомобилей.

Ключевые слова: беспилотный транспорт, исследования и разработки, США, Китай, Европа, Россия, тестирование, регулирование, перспективы, автономное вождение.

The present and future of autonomous transportation. Kaligin N.N. FSUE «NAMI», Uvaysov S.U. MIREA (TU).

This article examines the current state and future prospects of autonomous transportation, highlighting the leading countries and companies involved in research and development in this field. The article emphasizes the role of the United States and China as the primary leaders in autonomous vehicle development, while also discussing the activities of companies in Europe and Russia. Key aspects such as testing, regulation, and legislation are also discussed in the context of widespread adoption of autonomous vehicles.

Keywords: autonomous transportation, research and development, USA, China, Europe, Russia, testing, regulation, prospects, autonomous driving.

Введение

Ситуация в сфере беспилотного транспорта в данный момент имеет позитивный и даже оптимистичный характер. Возможность использования беспилотного автомобиля является инновацией в сфере транспорта. Массовое использование инноваций требует определенного уровня принятия и отношения к ним у населения. По общему уровню одобрения к внедрению инноваций сфера транспорта уступает только сфере производства товаров (рис. 1), где инновации ожидают преимущественно среди гаджетов и смартфонов. На применение беспилотных автомобилей общество возлагает большие надежды, однако при становлении любой технологии появляются и проблемы. Данная статья посвящена обзору текущей ситуации в отрасли и возможным перспективам беспилотного транспорта.

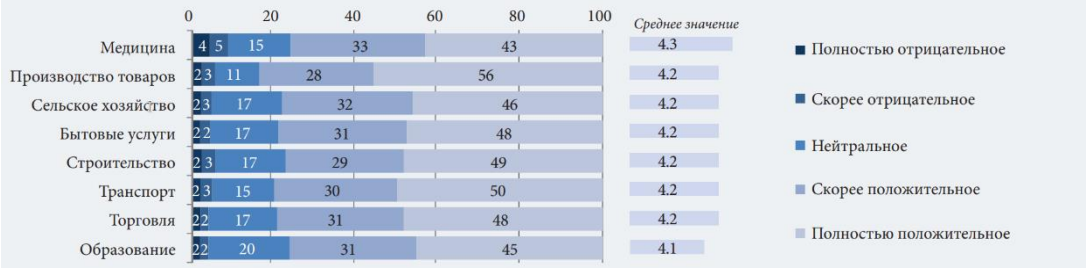


Рисунок 1 – Отношение населения к внедрению инноваций, по областям (%) [1].

Состояние отрасли

Три столпа, от которых зависит массовое применение беспилотных автомобилей, это – исследования и разработки, тестирование и использование на дорогах, регулирование и законодательство.

Лидером в области исследований и разработок на данный момент являются США. В этой стране помимо академических исследований есть крупнейшие частные компании, которые ведут работу по созданию беспилотных автомобилей. Waymo (дочерняя компания Alphabet) уже в 2010 году добилась того, что автомобиль проехал около 1600 км полностью автономно и ещё 225308 км с частичным участием человека [2]. А модель Toyota Prius, которая принимала участие в данной работе, встречается в качестве тестовой модели и по сей день. Холдинговая компания Alphabet Inc. активно участвует в регистрации патентов и разработке законодательных инициатив.

Tesla разработкой систем автопилота, внедрением их в электромобили и активным маркетингом смогли выработать у многих твердую ассоциацию бренда с беспилотными технологиями. Системы с функцией «Full Self-Driving» (FSD) привлекают внимание, находясь на стыке между полностью автономными системами и системами помощи водителю.

Компания Cruise Automation (дочерняя компания General Motors) работает над усовершенствованием собственной модели беспилотного автомобиля Cruise AV на базе Chevrolet Bolt и его тестированием на улицах Сан-Франциско. Образованная путём выделения из General Motors изначально под названием Delphi Automotive компания Aptiv тоже вела работу в области беспилотного транспорта. На улицах Сан-Франциско в числе вышеописанных гигантов отрасли можно встретить также автомобили Uber ATG от одноименной компании, которая активно сотрудничает с Waymo, Aurora и Cartken.

В Китае, как и в Соединенных Штатах, беспилотный транспорт активно развивается и является одной из приоритетных областей технологического развития. Китайские компании, такие как Baidu, Alibaba, Tencent и NIO, инвестируют значительные средства в исследования и разработки в области беспилотных автомобилей. Baidu, например, работает над своей платформой Apollo, которая предоставляет инструменты для создания беспилотных автомобилей и разрабатывает автомобили, уже прошедшие успешные испытания на дорогах.

Помимо гиганта Baidu, разработкой беспилотных автомобилей занимаются такие инновационные компании, как Pony.ai, AutoX и DJI. Pony.ai, одна из ведущих компаний в этой области, активно тестирует и совершенствует свои беспилотные автомобили как на китайских, так и на американских дорогах. AutoX, также китайская компания, предлагает решения в области беспилотного вождения и успешно проводит эксперименты в различных городах Китая. Компания DJI, изначально известная своими дронами, также принимает активное участие в исследованиях и разработках в области беспилотных автомобилей, в том числе через проект RoboMaster. Китай стремится стать мировым лидером в области беспилотного транспорта и активно разрабатывает технологии, которые могут изменить будущее транспортной индустрии.

Соревнование США и Китая за первенство в технологии самое динамичное и при этом открытое для анализа. Кроме выставочных образцов и ограниченного присутствия беспилотных автомобилей наивысшего класса автономности в зонах испытаний можно увидеть в том числе и статистику [3]. Лидером по совокупному пробегу беспилотных автомобилей является Waymo (рис. 2).

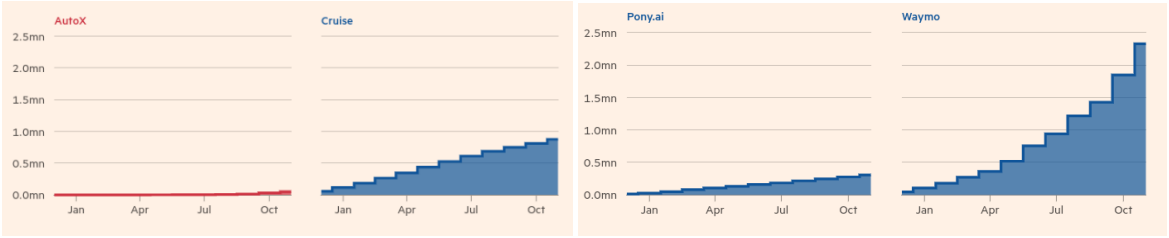


Рисунок 2 – Совокупное количество миль испытаний, пройденных китайскими и американскими компаниями по производству беспилотных транспортных средств (декабрь 2020 г. – ноябрь 2021 г.).

AutoX при этом стремится сократить количество отказов беспилотников (рис. 3). Соперничество настолько жесткое, что, по версии Financial Times, в январе 2019 года основатель компании AutoX Сяо Цзяньсюна на демонстрации приказал отключить системы безопасности для тормозов, рулевого колеса, акселератора и кнопки экстренного торможения. А Waymo и Cruise разработку решили не прерывать даже в условиях пандемии Covid-19.

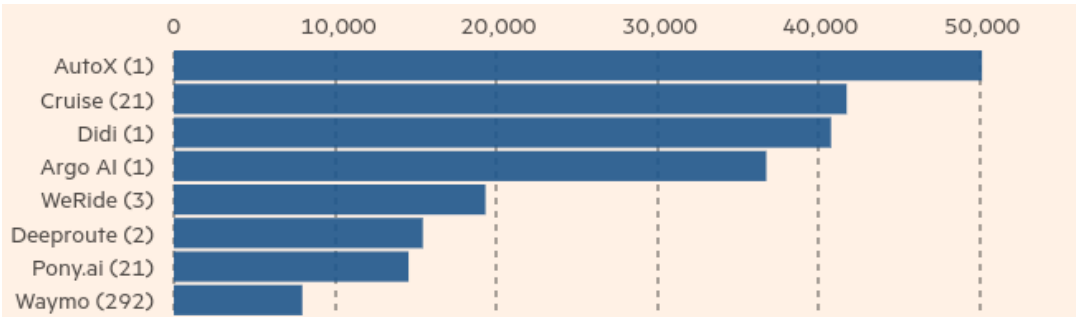


Рисунок 3 – Количество миль на один выход из строя, декабрь 2020 г. – ноябрь 2021 г. (количество отключений в скобках).

Япония в этом противостоянии занимает политику нейтрального сотрудничества с каждой из стран. В Европе и России разработки в этой области проходят сравнительно менее динамично. Одной из ведущих европейских компаний в этой области является Oxbotica – британская компания, которая специализируется на разработке программного обеспечения для автономных автомобилей. Компания Zenuity, совместное предприятие Volvo и Veoneer, также является важным игроком в европейской индустрии беспилотных транспортных средств. Результаты исследований внедряются в автомобили Volvo. Французская компания NAVYA сосредоточивает свое внимание на разработке беспилотных электрических шатлов и автобусов для городских и пригородных перевозок.

В России центральными в разработке беспилотных автомобилей, алгоритмов и электроники для них являются компании Яндекс, Сберавтотех, НАМИ и КАМАЗ. КАМАЗ сотрудничал с компанией Cognitive Technologies в разработке систем автономного вождения для грузовиков и проводил собственные разработки, одним из результатов которых стал запуск движения беспилотных грузовиков на трассе М-11 [5].

Сложности и вызовы

Безопасность. Одной из основных проблем является обеспечение безопасности беспилотных автомобилей. Системы должны быть надежными, чтобы избегать аварий и предотвращать столкновения с другими участниками дорожного движения.

Аварии из-за их немногочисленности и интереса к теме беспилотного транспорта часто несут широкий резонанс и огласку. В 2018 году автомобиль Uber, находящийся в режиме автопилота, сбил пешехода в городе Темпе, Аризона [6]. Автомобиль Tesla, находящийся в режиме Autopilot, попал в аварию в 2021 году, в результате которой погибли два человека [7]. Беспилотный минивэн Chrysler Pacifica Hybrid компании Google, проходящий испытания в рамках проекта Waymo, попал в ДТП в Аризоне в 2018 году [8]. Новостной пик по поводу аварий пришелся на 2018-2020 гг. За последние годы такого рода аварии воспринимаются не так остро, хотя оснований на это гораздо больше. Согласно данным, опубликованным NHTSA, с 2016 года по июнь 2021 года беспилотные автомобили Tesla попадали в ДТП 35 раз (7 раз в год), но за июнь 2021 – июнь 2022 произошло уже 273 аварии. Число аварий выросло в 39 раз, что опережает рост числа беспилотных автомобилей, которые при этом совершенствуются [9].

Очевидно, что совершенствование алгоритмов вождения не завершено. *Сложность дорожного движения***,** при котором автомобиль едет в динамичном и непредсказуемом потоке, усугубляется несовершенством сенсоров, программного обеспечения, отсутствием единых стандартов и законодательных норм.

Для надежного автономного движения беспилотных автомобилей требуются высокодетализированные и актуальные *карты*. Создание и обновление карт для беспилотных транспортных средств – это сложный процесс, который требует специализированных программных продуктов и комплексов. Основными программными продуктами и технологическими комплексами в данный момент являются HERE HD Live Map [10] и TomTom High Definition (HD) Map [11]. Mapbox [12] предоставляет платформу для создания и обновления карт, которая может быть использована в автономных системах. Компания Esri [13] предоставляет ГИС-решения и инструменты для создания и обновления карт. Mobileye, дочерняя компания Intel, разработала решение Roadbook [14] для создания и обновления карт, используемых в беспилотных автомобилях. Оно базируется на данных, собираемых с помощью камер и сенсоров, установленных на автомобиле. Waymo Open Dataset [15] предоставляет открытые наборы данных для обучения беспилотных систем, включая данные карт и информацию о дорожной инфраструктуре. Civil Maps [16] предоставляет решения для создания высокодетализированных карт для беспилотных автомобилей с помощью компьютерного зрения и машинного обучения. Applanix POS LV – высокоточная система позиционирования и навигации, которая используется для сбора данных о дорожной инфраструктуре и создания карт [17].

Беспилотные автомобили, особенно электрические, должны быть эффективными с точки зрения *энергопотребления*, чтобы увеличить их долговечность и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Разработчики должны соблюдать сложные *законы и нормативы*, регулирующие использование беспилотных автомобилей. Необходимо разработать соответствующие правила и стандарты для безопасного внедрения этой технологии.

Общественное мнение и уровень доверия к беспилотным автомобилям играют важную роль. Некоторые люди могут бояться использовать автономные автомобили из-за опасений по поводу безопасности.

Технология беспилотных автомобилей может быть дорогой для разработки и внедрения. Снижение *стоимости* и обеспечение доступности для широкой аудитории являются серьезными задачами. Обучение беспилотных систем и *создание искусственного интеллекта*, способного адаптироваться к разнообразным дорожным ситуациям, требуют больших усилий.

Собранные данные о перемещениях и дорожных условиях могут быть чувствительными, и их *обеспечение защиты от хакеров* и злоумышленников – важный аспект. В данный момент автомобили проводят сбор, обработку и передачу информации по проводным и беспроводным протоколам. Внедряются стандарты V2X [18] для беспроводного обмена информацией. Для встроенной электроники автомобильный Ethernet постепенно замещает CAN. OpenXC (открытый стандарт связи для беспилотных автомобилей, разработанный Ford) начинает конкурировать с OBD.

Из значимых стандартов можно выделить:

- ISO 26262 – стандарт определяет требования к функциональной безопасности в автомобильной электронике, включая беспилотные системы; описывает процессы и методы для обеспечения безопасности на уровне системы и аппаратуры.
- SAE J3016 – стандарт определяет уровни автономности для беспилотных транспортных средств и является основой для классификации беспилотных автомобилей по их способности к автономному управлению.
- ISO 15628 – стандарт описывает форматы и протоколы обмена данными для беспилотных систем, включая структуры данных и протоколы передачи данных.

Сбор данных имеет не только технический, но и правовой характер. Логичным продолжением анализа аварий является то, что владельцы и операторы беспилотных транспортных средств обязаны иметь специальные страховые полисы, которые покрывают ущерб в случае аварии. Эти полисы могут включать в себя как страхование на случай технических сбоев, так и страхование на случай виновности беспилотного автомобиля. Для объективности принятия такого рода решений и разработки прецедентов необходима надежная системы записи данных. Установка обязательных систем записи данных (черных ящиков) в беспилотных транспортных средствах может предоставить информацию о состоянии системы на момент аварии и обстоятельствах события. Законодательство может четко определять, какая сторона несет ответственность в случае аварии с беспилотным транспортным средством, в зависимости от обстоятельств события только при однозначности трактовки этих событий.

Государства обсуждают новое законодательство и политику, которые учитывают особенности беспилотных автомобилей и определяют процедуры в случае аварий. Одновременно с этим ведущие компании отрасли пытаются выработать ряд соглашений о разделе ответственности между

производителями, владельцами и операторами беспилотных автомобилей. Такие соглашения могут устанавливать ясные правила и ограничения в случае аварии. Тот факт, что правовая проработка данной технологии в России носит систематический характер [20], говорит о важности данной темы.

Заключение

В заключении следует отметить, что автоматизация процесса вождения повысит безопасность поездок и плотность транспортных потоков. По примеру многовекторного развития данной технологии в США и Китае можно судить о том, что рано или поздно будущее беспилотных автомобилей сольется с будущим индустрии транспорта, как такового. При этом время, которое водитель тратил на управление транспортом освободится, что приведет к повышению качества жизни. Эргономика транспорта эволюционирует от приоритетов удобства управления к приоритетам комфорта поездки. Производители автомобилей будут делать упор на возможность использования в поездке развлекательного и рекламного контента. Будет формироваться и крепнуть «долгий» массовый рынок со значительными финансовыми вливаниями и такой же долгой, но внушительной окупаемостью с дальнейшей экспансией.

В странах с развитой транспортной инфраструктурой, но, по разным обстоятельствам, стоящим перед выбором в приоритете направления развития беспилотных автомобилей, будет сделан упор либо на направления с высокой краткосрочной рентабельностью, как в России, либо на максимальный положительный социальный отклик, как в Европе.

В ЕС страны готовы финансировать внедрение беспилотных автомобилей преимущественно для повышения качества жизни. Шанс стать водителем в таком случае появляется даже у незрячих и других ограниченных в своих возможностях людей. Упор делается на общественный и малогабаритный транспорт, доступный по принципу такси. При такой анонсированной широкой доступности использования финансируемых правительством беспилотных автомобилей на частный транспорт такого рода будет сделан меньший упор.

В России наибольшие перспективы имеет беспилотный грузовой, промышленный и сельскохозяйственный транспорт. Это связано прежде всего с рентабельностью оснащения легкового транспорта системами автопилотирования. Стоимость такого оснащения составляет $30 тыс. и приводит к тому, что стоимость роботизированного автомобиля становится в 2-3 раза выше классического. Однако грузовые автомобили, сельскохозяйственная и промышленная техника стоят гораздо больше легковых автомобилей. Рентабельность оснащения такого рода транспорта выше. Поэтому уже сейчас в России идут работы по созданию транспортных коридоров беспилотных автомобилей, исследования с целью оснащения системами автономного управления спецтехники, например, уборочной и складской.

Таким образом формируется три подхода к приоритету внедрения беспилотного транспорта. Во-первых, это массовый частный транспорт. Во-вторых, это беспилотный автомобиль в роли социальной транспортной инфраструктуры. В-третьих, это применения беспилотных автомобилей для автоматизации сложившихся бизнес-процессов в работе крупных коммерческих компаний.

Литература

1. Pishnyak A., Khalina N. (2021) Perception of New Technologies: Constructing an Innovation Openness Index. Foresight and STI Governance, 15(1), 39–54. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.1.39.54.
2. Google Cars Drive Themselves, in Traffic: [Электронный ресурс]. The New York Times, 2010. URL: https://www.nytimes.com/2010/10/10/science/10google.html. (Дата обращения: 01.06.2023).
3. Disengagement reports: [Электронный ресурс] California Department of Motor Vehicles, 2023. URL: https://www.dmv.ca.gov/portal/vehicle-industry-services/autonomous-vehicles/disengagement-reports/ (Дата обращения: 01.06.2023).
4. Waymo and Cruise safety drivers face a bleak choice: pandemic or pollution?: [Электронный ресурс] The Verge, 2020. URL: https://www.theverge.com/2020/10/5/21473719/waymo-cruise-self-driving-car-backup-safety-driver-pandemic-wildfires-california (Дата обращения: 01.06.2023).
5. На трассе М-11 "Нева" запустили движение беспилотных грузовиков "Камаз": [Электронный ресурс] ТАСС, 2020. URL: https://tass.ru/ekonomika/18004969 (Дата обращения: 14.06.2023).
6. Беспилотник Uber сбил насмерть пешехода из-за настроек автопилота: [Электронный ресурс, Ведомости, 2018. URL: https://www.vedomosti.ru/technology/news/2018/05/08/768916-bespilotnik-uber-sbil (Дата обращения: 14.06.2023).
7. Кто виноват в гибели двух пассажиров в ДТП с Tesla без водителя: [Электронный ресурс, Российская газета, 2021. URL: https://rg.ru/2021/04/19/kto-vinovat-v-gibeli-dvuh-passazhirov-v-dtp-s-tesla-bez-voditelia.html (Дата обращения: 14.06.2023).
8. Беспилотник Waymo попал в ДТП в Аризоне: [Электронный ресурс] Комерсантъ, 2018. URL: https://www.kommersant.ru/doc/3622743 (Дата обращения: 14.06.2023).
9. О проблемах беспилотных автомобилей: [Электронный ресурс] Habr, 2022. URL: https://habr.com/ru/companies/first/articles/681956/ (Дата обращения: 14.06.2023).

10. HERE HD Live Map: [Электронный ресурс] HERE, 2023. URL: https://www.here.com/platform/HD-live-map (Дата обращения: 14.06.2023).
11. TomTom High Definition (HD) Map: [Электронный ресурс] TomTom, 2023. URL: https://www.tomtom.com/products/hd-map/ (Дата обращения: 14.06.2023).
12. Mapbox: [Электронный ресурс] Mapbox, 2023. URL: https://www.mapbox.com/ (Дата обращения: 14.06.2023).
13. Esri: [Электронный ресурс] Esri, 2023. URL: https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/index (Дата обращения: 14.06.2023).
14. Road Experience Management™: [Электронный ресурс] Mobileye, 2023. URL: https://www.mobileye.com/technology/rem/ (Дата обращения: 14.06.2023).
15. Waymo Open Dataset: [Электронный ресурс] Waymo, 2023. URL: https://waymo.com/open/ (Дата обращения: 14.06.2023).
16. Civil Maps: [Электронный ресурс] Civil Maps, 2023. URL: https://civilmaps.com/ (Дата обращения: 14.06.2023).
17. APPLANIX POS LV: [Электронный ресурс] Applanix, 2023. URL: https://www.applanix.com/products/poslv.htm (Дата обращения: 14.06.2023).
18. Инфраструктурный обзор распределенной телекоммуникационной системы дорожного движения и ее протоколов / Н. Н. Калигин, С. У. Увайсов, А. С. Увайсова, С. С. Увайсова // Российский технологический журнал. – 2019. – Т. 7, № 6(32). – С. 87-95. – DOI 10.32362/2500-316X-2019-7-6-87-95. – EDN ZOXOCT.
19. APPLANIX POS LV: [Электронный ресурс] Applanix, 2023. URL: https://www.applanix.com/products/poslv.htm (Дата обращения: 14.06.2023).
20. Беспилотным авто закон писан: [Электронный ресурс] Комерсантъ, 2021. URL: https://www.kommersant.ru/doc/4856110 (Дата обращения: 14.06.2023).

МЕТОДИКА ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ИТ-ПРОЕКТОВ

Надеждин Е.Н., Тихонов М.А.
ФГБОУ ВО «РГГУ»
+7 (906) 622-12-18, en-hope@yandex.ru

Аннотация - Статья посвящена обоснованию методики прогностической оценки конкурентоспособности альтернативных вариантов ИТ-проекта. Конкурентоспособность рассматривается как междисциплинарное свойство инновационного ИТ-проекта, определяющее его коммерческий потенциал и возможность удовлетворить актуальные запросы пользователя. Для многокритериальной оценки и ранжирования исходного множества вариантов ИТ-проекта предложена итерационная процедура линейной свертки частных показателей эффективности, полученных на основе применения метода экспертных оценок и алгоритма попарного сравнения вариантов.

Ключевые слова: ИТ-проект, конкурентоспособность, обобщенный показатель, линейная свертка, метод экспертных оценок, алгоритм метод попарного сравнения вариантов.

Method for predictive assessment of competitiveness innovative IT projects. Nadezhdin E. N., Tikhonov M. A.. Russian State Humanitarian University

Annotation - The article is devoted to the substantiation of the methodology for predictive assessment of the competitiveness of alternative options for an IT project. Competitiveness is considered as an interdisciplinary property of an innovative IT project, which determines its commercial potential and the ability to satisfy current user requests. For multi-criteria assessment and ranking of the initial set of IT project options, an iterative procedure for linear convolution of partial performance indicators obtained using the method of expert assessments and the algorithm of pairwise comparison of options is proposed.

Key words: IT project, competitiveness, generalized indicator, linear convolution, method of expert assessments, algorithm, method of pairwise comparison of options.

На современном этапе социально-экономического развития России значительно выросли запросы общества на национальные инновационные ИТ-проекты, которые при относительно невысокой себестоимости обладают заданной функциональностью, отвечают тенденциям научно-технического прогресса и способны существенно повысить эффективность управления бизнес-процессами. Вместе с тем, выбор оптимального варианта ИТ-проекта по совокупности разнородных показателей эффективности

представляет собой достаточно сложную научно-техническую задачу, которая не имеет стандартного решения [1].

На практике для прогностической оценки конкурентоспособности разрабатываемого ИТ-проекта используют специальные аналитические методы технико-экономического и инвестиционного анализа, которые в конкретных случаях позволяют найти решение, однако не могут считаться универсальными [2]. На этапе эскизного проектирования информационных систем в силу высокого уровня неопределённости исходных данных эти методы не всегда позволяют получить приемлемые по точности результаты. Перспективным подходом к формализации задач прогностической оценки конкурирующих ИТ-проектов следует считать использование результатов и рекомендаций современной теории полезности [3].

Известно, что конкурентоспособность товара представляет собой совокупность его качественных и стоимостных характеристик, которая обеспечивает удовлетворение конкретной потребности потенциального покупателя и выгодно отличает его от аналогичных конкурирующих товаров.

Современный ИТ-проект представляет собой наукоёмкий продукт с большой добавочной стоимостью. Создание социально-значимых ИТ-проектов связано с существенными затратами ресурсов и требует высокой квалификации большого коллектива разработчиков, обладающих междисциплинарными профессиональными компетенциями. Поэтому при анализе конкурентоспособности инновационного ИТ-проекта, как показали наши исследования, необходимо дополнительно учитывать следующие факторы:

1) ведущие тенденции в развитии информационных технологий и направления информатизации избранной предметной области;
2) социальную значимость проблемы, решаемой с применением инструментария проекта;
3) функциональность и технико-экономические показатели проекта относительно прототипа;
4) инновационность разрабатываемых проектных решений;
5) практическую реализуемость на известных аппаратно-программных платформах;
6) потребительскую стоимость и коммерческий потенциал ИТ-проекта;
7) масштабируемость.

В классическом случае задача выбора предпочтительного варианта ИТ-проекта часто формулируется как задача максимизации его базовой модели по критерию «эффективность-стоимость» [1, 3].

Необходимо определить:

$$x^{*}=arg \max_{x \in Dx} F(x) \ \textit{при условиях} \ \sum C \in C_x, H \cdot X < B, \ X \geq 0. \quad (1)$$

Здесь $X^T = (x_1, \ldots, x_s)$ - вектор управляемых системных переменных, характеризующих конкретное техническое решение; H - матрица коэффициентов; B - вектор граничных условий; $F^T = (F_1, \ldots, F_n)$ - векторный показатель эффективности; C - потребляемые ресурсы; C_x - выделяемые ресурсы; D_x – область допустимых значений критериев.

В соответствии с математической моделью (1) ***задача выбора оптимального варианта*** заключается в определении такого множества допустимых параметров $x^* = (x_1^*, \ldots, x_S^*)$ базового ИТ-проекта, при которых обеспечиваются наибольший эффект $max\, F\,(x)$ от реализации при ограничениях, накладываемых на затраты ресурсов $C(x)$. В рассматриваемой задаче требуется сравнить конкурирующие варианты ИТ-проекта по совокупности частных критериев и затем выполнить их ранжирование.

В условиях ускорения темпов научно-технического прогресса и обострения конкурентной борьбы на отечественном рынке информационных технологий каноническая модель задачи выбора предпочтительного варианта ИТ-проекта требует доработки и обобщения с учетом рекомендаций информационного маркетинга.

На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма функциональной модели решения задачи выбора предпочтительного варианта, выполненная в нотации IDEF0.

Предлагаемая нами методика прогностической оценки и ранжирования конкурирующих вариантов представляет собой один из способов реализации эвристического подхода к проблеме сравнительной оценки вариантов ИТ-проекта, разработанный с учетом рекомендаций современной теории принятия решений в условиях многокритериальности [3]. В целях преодоления трудностей, обусловленных многокритериальностью задачи, выбором шкалы оценивания и неопределённостью исходных данных авторами использованы итерационный подход, метод экспертных оценок [4], метод сравнительного анализа и процедура скалярной свертки векторного показателя эффективности.

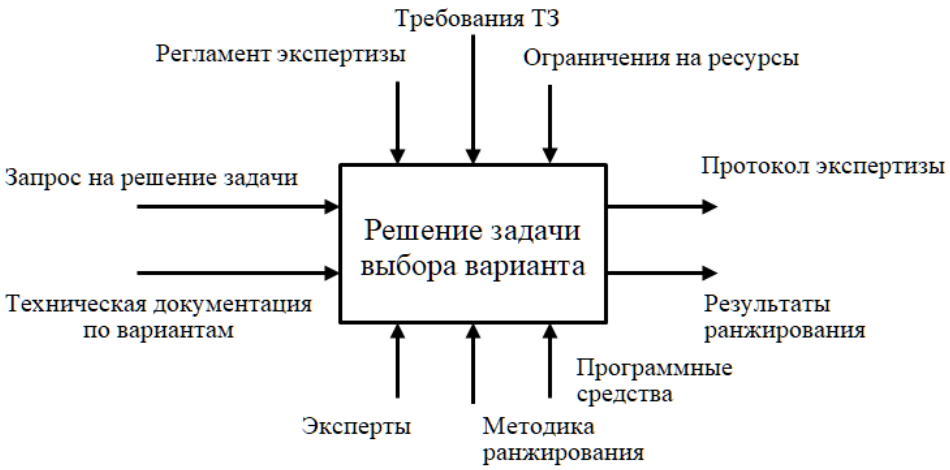


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма задачи ранжирования вариантов проекта

При сравнительном анализе проектов использована методика многокритериальной оценки информационных систем, изложенная в ранее опубликованных авторских работах [5, 6]. В основу известного методического подхода положены результаты автоматизированной обработки данных, которые получают в ходе опроса группы экспертов, в сочетании с методом парных сравнений вариантов. В интересах упрощения модели задачи выбора будем считать, что выбор предпочтительного ИТ-проекта осуществляется на конечном множестве вариантов, которые формально удовлетворяют общим требованиям информационной безопасности конечного пользователя.

На рисунке 2 представлена укрупненная блок-схема авторской методики оценки и ранжирования конкурирующих ИТ-проектов. Выделим принципиальные особенности разработанного методического подхода к решению задачи оценки и ранжирования ИТ-проектов.

Исследование начинается с анализа предметной области (**блок 1**), в ходе которого изучается сущность и факторное пространство поставленной проблемы и перспективные подходы к её решению на базе применения достижений в области прикладных информационных и коммуникационных технологий (ИКТ). Принципиальное значение имеет обоснованный выбор существующей информационной системы (или известного проектного решения) A^*, которая далее рассматривается в качестве прототипа (**блок 2**). Представляется важным получение наиболее полной и достоверной информации о функциональности и технико-экономических характеристиках прототипа.

На третьем шаге с учетом динамики предметной области, специфики спроса и ведущих тенденций на рынке ИКТ осуществляется отбор факторов, которые формируют конкурентоспособность ИТ-проекта (**блок 3**). В результате определяют совокупность частных показателей $F=[F_j, j=1,\ldots,n]$, которые будут учитываться в ходе исследования. Далее осуществляется процедура подбора и формирования рабочей группы из *r* экспертов, обладающих соответствующими компетенциями (**блок 4**).

На очередном шаге (**блок 5**) формируется (или корректируется) рабочая выборка ИТ-проектов $\tilde{A}=[A_i, A^*]$, которые будут проходить экспертизу с последующим оцениванием по совокупности частных показателей. Отметим, что в состав рабочей выборки всегда включается прототип A^*. Рекомендуемая размерность выборки составляет число 3.

Итерационная оценка значимости частных показателей конкурентоспособности (**блок 6**) и сравнительная оценка ИТ-проектов, представленных в рабочей выборке (**блок 7**), осуществляются в соответствии на основе обработки результатов опроса экспертов в соответствии с известной методикой многокритериальной оценки информационных систем, описанной в авторских статьях [5, 6].

Интегрированный показатель $\boldsymbol{\pi_i}$ (i=1,…,m) конкурентоспособности каждого из сопоставляемых ИТ-проектов определяется по формуле линейной свертки частных показателей с учетом весовых коэффициентов (**блок 8**), вычисленных ранее в блоке 6.

Ранжирование ИТ-проектов, включенных в состав рабочей выборки A^*, осуществляется по величине интегрированного показателя конкурентоспособности (**блок 9**). При этом наиболее предпочтительным будет ИТ-проект, имеющий наибольший относительный показатель конкурентоспособности.

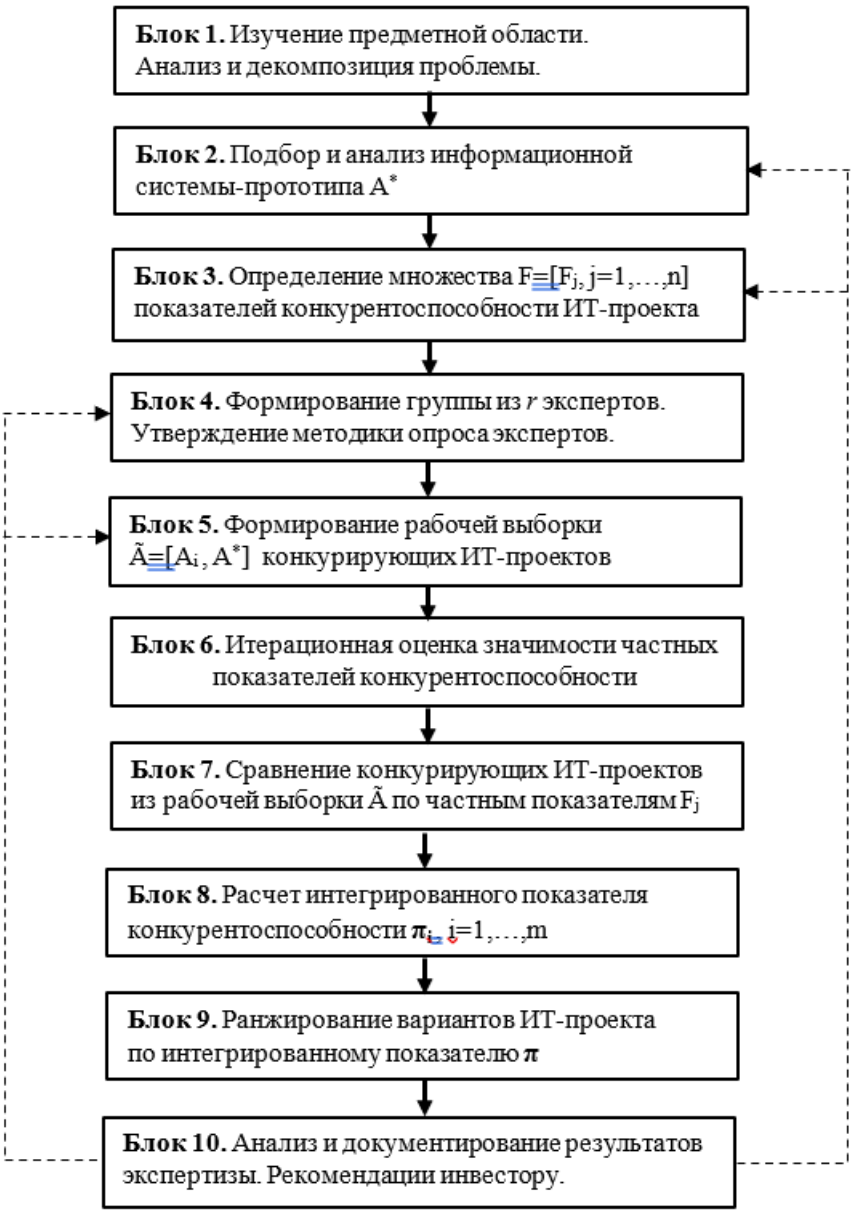


Рисунок 2 – Блок-схема методики оценки и ранжирования ИТ-проектов

На заключительном шаге (**блок 10**) предусматриваются процедуры анализа результатов экспертизы ИТ-проектов и их документирования в соответствии с установленными правилами.

В предлагаемой методике ранжирования ИТ-проектов предусматриваются четыре контура, поддерживающих итерационный характер экспертного исследования.

Обратная связь «*блок 10 – блок 5*» обеспечивает изменение состава рабочей выборки путем замены проекта, обладающего наименьшей конкурентоспособностью (по результатам ранжирования) на проект из исходного множества конкурирующих проектов.

Обратная связь «*блок 10 – блок 4*» обеспечивает эволюцию состава группы экспертов и/или корректировку политики снятия и обработки экспертных оценок. Реализация данных организационно-методических процедур направлена на обеспечение высокого уровня объективности ранжирования критических социально значимых ИТ-проектов.

Обратная связь «*блок 10 – блок 3*» предусматривает возможность корректировки размерности и/или состава компонентов множества частных показателей конкурентоспособности ИТ-проектов в случае обновления нормативных документов или в интересах учета рекомендаций потенциального инвестора.

Обратная связь «*блок 10 – блок 2*» предусматривает возможность замены прототипа в случае смены концепции информатизации предметной области или при поступлении оперативной информации о появлении на рынке ИКТ информационных систем, обладающих более высокими технико-экономическими показателями.

Изложенная и апробированная методика ранжирования вариантов проекта реализована в разработанной авторами экспертной системе поддержки принятия проектных решений (ЭС ППР). Экспериментальная проверка функциональности ЭС ППР проведена на основе решения задач оценки конкурирующих ИТ-проектов в различных предметных областях [5, 6].

Приведем данные о решении контрольной задачи по экспериментальной проверке работоспособности ЭС ППР, ограничившись процедурами оценки и ранжирования (рис.2) в рамках блоков 5-9.

При формировании структуры интегрированного показателя конкурентоспособности ИТ-проектов представляется целесообразным воспользоваться набором существующих требований к инновационным проектам, обычно представляемым на конкурс грантов в области реализации критических технологий. В качестве частных показателей ИТ-проектов рассматриваются:

1) социальная значимость D_i;
2) ожидаемые материальные затраты C_i на создание пилотного проекта;
3) наличие у создаваемого проекта коммерческого потенциала Q_i;
4) техническая реализуемость на технологической базе предприятия-разработчика G_i;
5) масштабируемость проекта M_{0i};
6) срок окупаемости инвестиций T_i.

Пусть рабочая выборка конкурирующих проектов состоит из трёх допустимых проектов, которые сравниваются по указанным выше шести частным показателям ($n = 6$). Пусть прототип ИТ-проекта имеет порядковый номер 1.

На этапе 6 исследования осуществляется опрос группы экспертов ($h = 4$), каждый из которых формулирует оценки предпочтительности n числа ($n = 6$) показателей путём их попарного сравнения между собой с целью последующего выяснения степени значимости (относительного веса) каждого частного показателя. Данные экспертных оценок всех возможных сочетаний вариантов представлены в табл. 1. После кодировки экспертные оценки показателей используются для последующей обработки (блоки 7-9). Решение исходной задачи сравнительного анализа проектов носит итерационный характер. Относительные веса, определяющие значимость частных показателей, приведены в третьей строке табл. 2.

Из результатов исследования относительной оценки каждого проекта следует, что наиболее предпочтительным является второй проект, для которого приоритет $\pi_2 = 0{,}367$. В последнем столбце табл. 2 приведены материалы определения общей *относительной оценки* (суммарного приоритета) π_k ($k = 1,2,3$) каждого рассматриваемого проекта. Полученные данные являются основанием для ранжирования и выбора наиболее предпочтительного проектного решения.

Таблица 1 - Результаты экспертной попарной оценки частных показателей W_i и W_j ($i \neq j$)

Номер варианта	Сравниваемые показатели	Э к с п е р т ы				Принимаемая система сравнения
		I	II	III	IV	
1	P и T	=	>	=	>	=
2	G и T	>	>	>	=	>
3	Q и T	>	=	>	>	>
4	C и T	=	=	=	<	=
5	D и T	>	=	=	>	=
6	G и M	>	=	>	<	=
7	Q и M	>	>	=	>	>
8	C и M	=	=	=	<	=
9	D и M	>	>	>	=	>
10	Q и G	=	<	<	<	<
11	C и G	>	=	>	=	=
12	D и G	>	>	>	=	>
13	C и Q	>	=	=	=	=
14	D и Q	>	>	=	>	>
15	D и C	=	=	=	>	=

Таблица 2 - Результаты сравнительной оценки ИТ-проектов

Частные показатели							**Интегрированный**
Номер	D	C	Q	G	M	T	

проекта	Степень значимости показателя						**показатель**
	0,225	0,188	0,163	0,162	0,150	0,113	$\boldsymbol{\pi}$
I	0,389	0,333	0,278	0,389	0,333	0,278	0,339
II	0,333	0,389	0,333	0,333	0,444	0,389	0,367
III	0,278	0,278	0,389	0,278	0,222	0,333	0,294

Таким образом, для многокритериальной прогностической оценки и ранжирования конкурирующих ИТ-проектов предложена итерационная методика автоматизированной обработки результатов экспертной оценки по нескольким частным показателям конкурентоспособности. В основу формализации задачи ранжирования проектов положена идея линейной свёртки частных показателей с учётом их весовых коэффициентов, полученных путём итерационных вычислений.

Литература:

1. Волкова В.Н. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие для вузов. – М.: Юрайт, 2010. – 679 с.
2. Анисифоров А.Б., Анисифорова Л.О. Методика оценки эффективности информационных систем и информационных технологий в бизнесе: учебное пособие. – СПб: Санкт-Петербургский гос. политехн. университет, 2014. – 97 с.
3. Брахман Т.Д. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. – М.: Радио и связь, 1984. – 288 с.
4. Крючковский В.В. и др. Интроспективный анализ. Методы и средства экспертного оценивания: монография / В.В. Крючковский, Э.Г. Петров, Н.А. Соколова, В.Е. Ходаков; под ред. Э.Г. Петрова. – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 168 с.
5. Надеждин Е.Н. Эвристический подход к задаче многокритериальной оценки вариантов проектных решений / Е.Н. Надеждин, Е.Е. Смирнова // Научный поиск. –2014. –№ 2.5. – С. 33-36.
6. Надеждин Е.Н., Забелин Д.А. Оценка интегрированного риска при создании пилотных ИКТ-проектов //Системы управления электротехническими объектами. Сб. научных трудов седьмой Всероссийской научно-практической конференции. – Тула. Изд-во ТулГУ, 2015. – С. 164-166.

УДК 621.314:681.586.7:004.942

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ZETA ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННЫМИ ДРОССЕЛЯМИ

Битюков В.К., Лавренов А.И.
Российский технологический университет (МИРЭА)

Проведенная работа продолжает современную тенденцию по переходу от сетевого питания, к аккумуляторному. Исследование затрагивает актуальный тренд в энергетической области, связанный с переходом от сетевого питания к батарейному для наукоемких систем и устройств. Для уменьшения размеров и улучшения стабильности выходного напряжения использованы связанные дроссели. В работе исследуемого устройства выделены две фазы и созданы эквивалентные схемы для каждой из них. Затем были сформулированы системы дифференциальных уравнений, описывающие каждую фазу в соответствии с правилами Кирхгофа. Для получения математической модели Zeta преобразователя с индуктивно связанными дросселями были объединены обе системы дифференциальных уравнений. Проверка достоверности предельной непрерывной модели Zeta преобразователя с индуктивно связанными дросселями, проведена схемотехническим моделированием в среде Multisim.

Ключевые слова: питание батарейное, понижающе-повышающий преобразователь, эквивалентная схема, топология Zeta, правила Кирхгофа, математическая модель, моделирование, Multisim, индуктивно связанные дроссели.

Mathematical model of a Zeta converter with inductively coupled inductors. Bityukov V.K., Lavrenov A.I., Russian Technological University (MIREA).

The conducted work continues the current trend of transition from grid power supply to battery power supply. The study touches upon the current trend in the energy field related to the transition from mains power supply to battery power supply for knowledge-intensive systems and devices. The features of operation in a unipolar DC/DC converter based on Zeta topology are described. Coupled inductors are utilized to reduce the size and improve the output voltage stability. In the operation of the device under study, two phases are identified and equivalent circuits for each phase are created. Then, systems of differential equations describing each phase

according to Kirchhoff's rules were formulated. Both systems of differential equations were combined to obtain a mathematical model of the Zeta converter with inductively coupled chokes. Verification of the validity of the limit continuous model of Zeta converter with inductively coupled chokes was carried out by circuit simulation in Multisim environment.

Keywords: battery power supply, step-down step-up converter, equivalent circuit, Zeta topology, Kirchhoff's rules, mathematical model, modeling, Multisim, inductively coupled chokes.

Введение

Развитие мобильных наукоемких систем и устройств сопровождается переходом от сетевого питания к батарейному. Примерами таких систем являются средства телекоммуникации [1], медицинская техника [2], беспилотные летательные аппараты [3] и другие. Ключевым элементом в электропитании таких устройств являются DC/DC преобразователи, ответственные за регулирование и стабилизацию напряжения. Поэтому к тактико-техническим параметрам (например, КПД, масса и габариты, стабильность выходного напряжения и уровень пульсаций) DC/DC преобразователей предъявляются строгие требованиям [4-5].

Для реализации этих параметров требуется постоянное усовершенствование методов проектирования DC/DC преобразователей. Одним из перспективных методов проектирования является метод, основанный на математической модели (ММ) разрабатываемого устройства. Ранее были исследованы ММ DC/DC преобразователей, включая те, которые реализуют базовые схемы стабилизации, такие как понижающие, повышающие и полярно-инвертирующие [6].

Такие топологии как SEPIC [7], Cuck [8] и Zeta [9-10] используются для построения комбинированных понижающе-повышающих DC/DC преобразователей. Они требуют особого внимания к проектированию из-за использования для улучшения стабилизации выходного напряжения и снижения габаритных параметров двух связанных дросселей.

Однако вопрос построения ММ DC/DC преобразователей с учетом связанных дросселей остается мало исследованным. До сих пор математическая модель с учетом связанных дросселей была разработана только для DC/DC преобразователей, построенных по схеме Cuck [8].

2. Математический анализ преобразователя

Сам Zeta преобразователь (рисунок 1), состоит из двух дросселей, двух конденсаторов, MOSTET-а, выполняющего функцию ключа, а так же блок управления (БУ), определяющий режим работы транзистора.

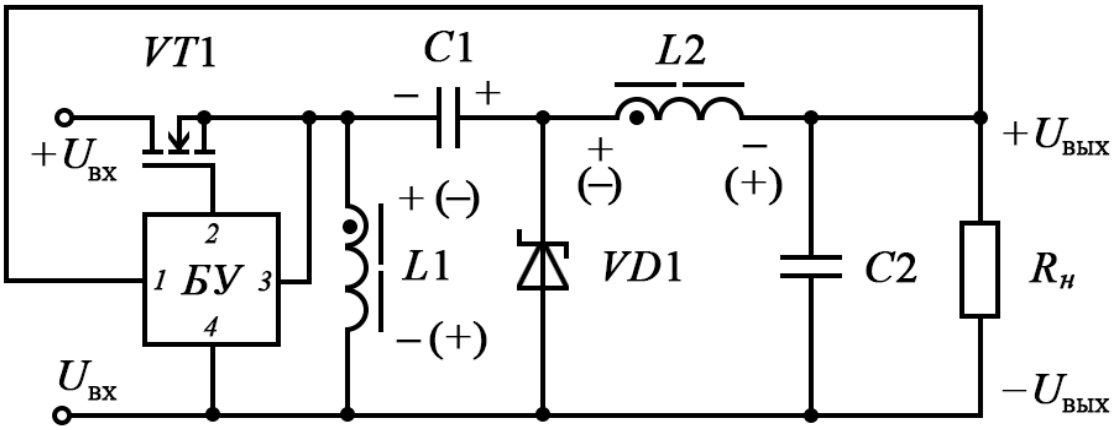


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема преобразователя понижающе-повышающего типа, выполненного по топологии Zeta

Дроссели $L1$ и $L2$ служат для аккумуляции и трансфера энергии через электромагнитную индукцию, тогда как конденсатор $C1$ обеспечивает развязку между входом и выходом преобразователя. Иногда конденсатор $C1$ называют "летающим", так как он не только разделяет, но и накапливает и передает энергию. Конденсатор $C2$ - сглаживающий.

При изучении механизма работы Zeta-преобразователя выделяются два этапа. На первом этапе, когда силовой транзистор $VT1$ открыт, дроссели накапливают энергию, и конденсатор $C1$ разряжается на $R_н$ и $L2$ (как показано на рисунке 2). На втором этапе, при закрытом $VT1$, дроссели разряжаются, и $C1$ заряжается разрядным током $L1$ (этап передачи энергии) (см. рисунок 3) [11].

На каждой схеме выделяются три контура: $K1$, $K2$ и $K3$, которые нужны для формирования систем уравнений по правилам Кирхгофа (рисунки 2 и 3). Первый этап работы преобразователя описывается системой из пяти дифференциальных уравнений по Кирхгофу, в то время как второй этап — системой из четырех дифференциальных уравнений.

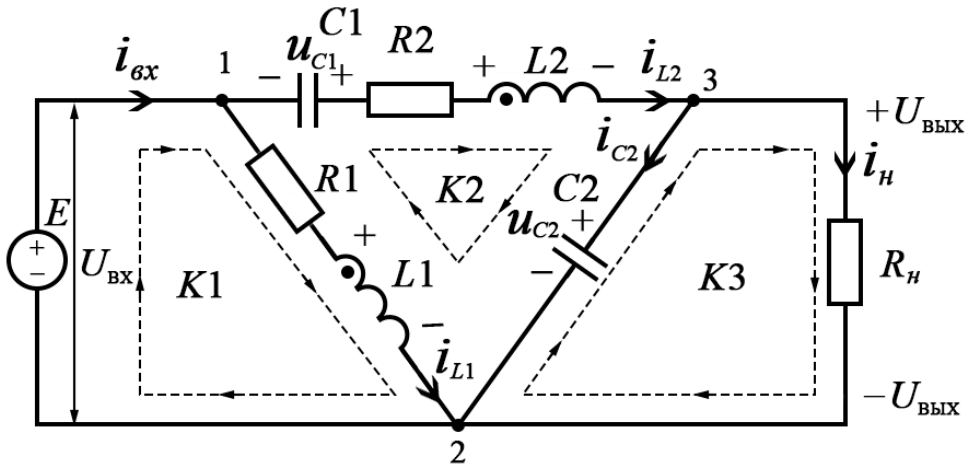


Рисунок 2 – Контуры на схеме DC/DC преобразователя в режиме накопления энергии

Согласно правилам Кирхгоффа были сформулированы уравнения для обеих фаз действия преобразователя. Для создания обобщенной системы дифференциальных уравнений их следует представить в виде Коши.

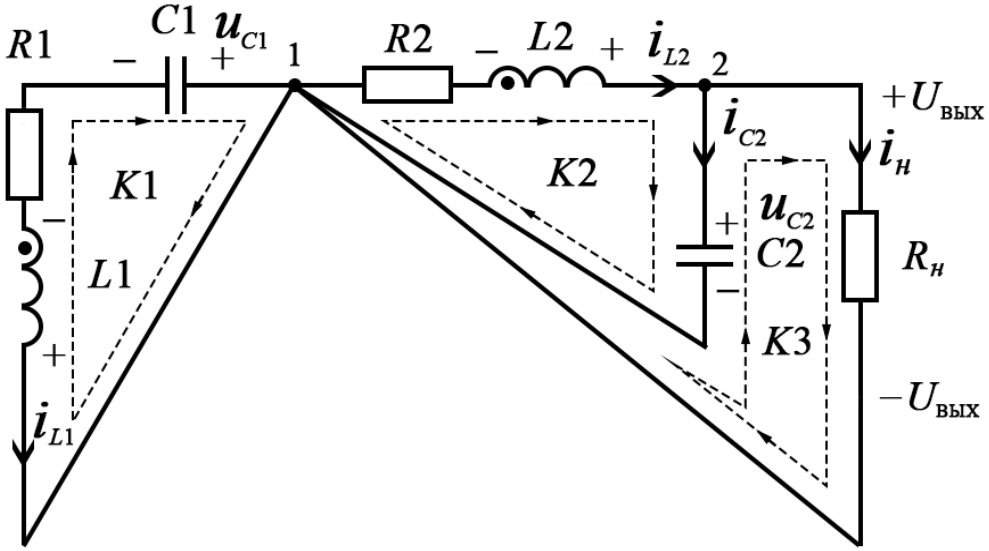


Рисунок 3 – Контуры схемы DC/DC преобразователя в режиме передачи энергии

Для разработки непрерывной математической модели DC/DC преобразователя на основе топологии Zeta с индуктивной связью дросселей были выведены две системы дифференциальных уравнений

$$i_{вх} - i_{L1} - i_{L2} = 0, \tag{1}$$

$$\begin{cases} \dfrac{di_{L1}}{dt} = \dfrac{L2 \cdot r_1}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot i_{L1} + \dfrac{-M \cdot r_2}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot i_{L2} + + \dfrac{-M}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot u_{C1} + \dfrac{-M}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot u_{C2} - \dfrac{M + L2}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot U_{вх} \\ \dfrac{di_{L2}}{dt} = \dfrac{-M \cdot r_1}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot i_{L1} + \dfrac{L1 \cdot r_2}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot i_{L2} + + \dfrac{L1}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot u_{C1} + \dfrac{L1}{M^2 - L1 \cdot L2} u_{C2} + \dfrac{M + L1}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot U_{вх} \\ \dfrac{du_{C1}}{dt} = \dfrac{1}{C1} \cdot i_{L2} \\ \dfrac{du_{C2}}{dt} = \dfrac{1}{C2} \cdot i_{L2} - \dfrac{1}{R_н C2} \cdot u_{C2} \end{cases}, \tag{2}$$

$$\begin{cases} \dfrac{di_{L1}}{dt} = \dfrac{L2 \cdot r_1}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot i_{L1} + \dfrac{-M \cdot r_2}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot i_{L2} + \dfrac{L2}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot u_{C1} + \dfrac{-M}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot U_{C2} \\ \dfrac{di_{L2}}{dt} = \dfrac{-M \cdot r_1}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot i_{L1} + \dfrac{L1 \cdot r_2}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot i_{L2} + \dfrac{M}{M^2 - L1 \cdot L2} \cdot u_{C1} + \dfrac{L1}{M^2 - L1 \cdot L2} U_{C2} \\ \dfrac{du_{C1}}{dt} = \dfrac{1}{C1} \cdot i_{L1} \\ \dfrac{du_{C2}}{dt} = \dfrac{1}{C2} \cdot i_{L2} - \dfrac{1}{R_н C2} \cdot u_{C2} \end{cases}, \quad (3)$$

где $i_{вх}$ – представляет собой входной ток источника питания *E*, i_{L1} и i_{L2} – обозначают токи, которые текут через обмотки дросселей *L*1 и *L*2 соответственно, i_{C2} – ток конденсатора *C*2, $i_н$ – ток нагрузки $R_н$, u_{C1} и u_{C2} – представляют собой падения напряжений на конденсаторах *C*1 и *C*2, соответственно, *L*1 – индуктивность *L*1, *L*2 – индуктивность *L*2, r_1, r_2 – активное сопротивление *L*1, *L*2, $R_н$ – сопротивление резистора $R_н$, M – взаимная индуктивность связанных дросселей, равная $M = k\sqrt{L1 \cdot L2}$, где k – коэффициент связи.

Причем первое уравнение было вынесено из системы, описывающей первую фазу работы преобразователя. Общую систему можно записать, как показано в [12-13], в виде

$$\frac{dX}{dt} = A \cdot X + B \cdot U,$$

где X – фазовые координат, A – коэффициенты *X*, U – входное напряжение, B – коэффициенты *U*, *t* – время.

Преобразовав две системы дифференциальных уравнений (2) и (3) в коэффициентные матрицы и объединив их, получают предельную непрерывную записанную в матричном виде

$$X = \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ u_{C1} \\ u_{C2} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$A = \begin{bmatrix} \dfrac{L2 \cdot r_1}{M^2 - L1 \cdot L2} & \dfrac{-M \cdot r_2}{M^2 - L1 \cdot L2} & \dfrac{-(D \cdot M) + (1-D) \cdot L2}{M^2 - L1 \cdot L2} & \dfrac{-M}{M^2 - L1 \cdot L2} \\ \dfrac{-M \cdot r_1}{M^2 - L1 \cdot L2} & \dfrac{L1 \cdot r_2}{M^2 - L1 \cdot L2} & \dfrac{(D-1) \cdot M + D \cdot L1}{M^2 - L1 \cdot L2} & \dfrac{L1}{M^2 - L1 \cdot L2} \\ \dfrac{1-D}{C1} & \dfrac{D}{C1} & 0 & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{C2} & 0 & \dfrac{-1}{R_н \cdot C2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$B = \begin{bmatrix} \dfrac{(M + L2) \cdot D}{M^2 - L1 \cdot L2} \\ \dfrac{-(D \cdot (M + L1))}{M^2 - L1 \cdot L2} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

где *D* – коэффициент заполнения.

Проведя анализ ММ преобразователя в установившемся режиме его работы, когда постоянные токи и напряжения не изменяются во времени при постоянном входном напряжении, были получены формулы для расчета постоянных токов и напряжений.

Уравнения для определения средних токов I_{L1}, I_{L2} и напряжений U_{C1}, U_{C2}, полученные из матричной математической модели (4-6), имеют вид

$$I_{L1} = \left| \frac{U_{вх} \cdot D^2}{(D^2 - 2 \cdot D + 1) \cdot r_2 + D^2 \cdot r_1 + R_н \cdot D^2 - 2 \cdot R_н \cdot D + R_н} \right|, \quad (7)$$

$$I_{L2} = \left| \frac{U_{вх} \cdot D^2 - U_{вх} \cdot D}{(D^2 - 2 \cdot D + 1) \cdot r_2 + D^2 \cdot r_1 + R_н \cdot D^2 - 2 \cdot R_н \cdot D + R_н} \right|, \quad (8)$$

$$U_{C1} = \left| \frac{(-(U_{вх} \cdot D^2) + U_{вх} \cdot D) \cdot r_2 + (R_н \cdot U_{вх} \cdot D - R_н \cdot U_{вх} \cdot D^2 - U_{вх} \cdot D^2 \cdot r_1)}{(D^2 - 2 \cdot D + 1) \cdot r_2 + D^2 \cdot r_1 + R_н \cdot D^2 - 2 \cdot R_н \cdot D + R_н} \right|, \quad (9)$$

$$U_{C2} = \left| \frac{R_н \cdot U_{вх} \cdot D^2 - R_н \cdot U_{вх} \cdot D}{(D^2 - 2 \cdot D + 1) \cdot r_2 + D^2 \cdot r_1 + R_н \cdot D^2 - 2 \cdot R_н \cdot D + R_н} \right|. \quad (10)$$

где I_{L1}, I_{L2} – средний ток $L1$ и $L2$, соответственно, U_{C1} , U_{C2} – среднее напряжение $C1$ и $C2$.

Таким образом, система уравнений (7-10) позволяет рассчитать значения постоянных токов I_{L1}, I_{L2} и напряжений U_{C1}, U_{C2}.

3. Моделирование в среде Multisim

Для проверки достоверности математической модели преобразователя с индуктивно связанными дросселями, использовалось схемотехническое моделирование в среде Multisim.

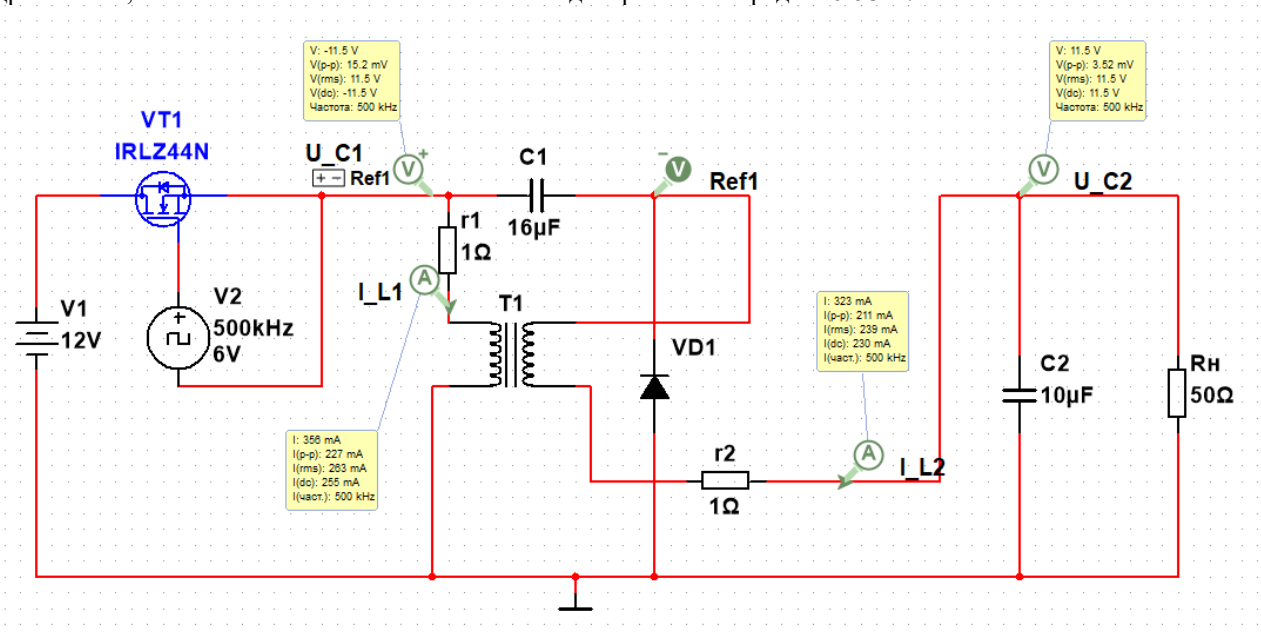


Рисунок 4 – Схема моделирования DC/DC преобразователя

На рисунке 4 изображена схема моделирования. Транзистор VT1 переключал ток от входного источника питания *V*1 согласно частоте импульсов ШИМ, которые определялись генератором *V*2. Используя пробники, контролировались средние значения токов в обмотках дросселей и напряжения на конденсаторах.

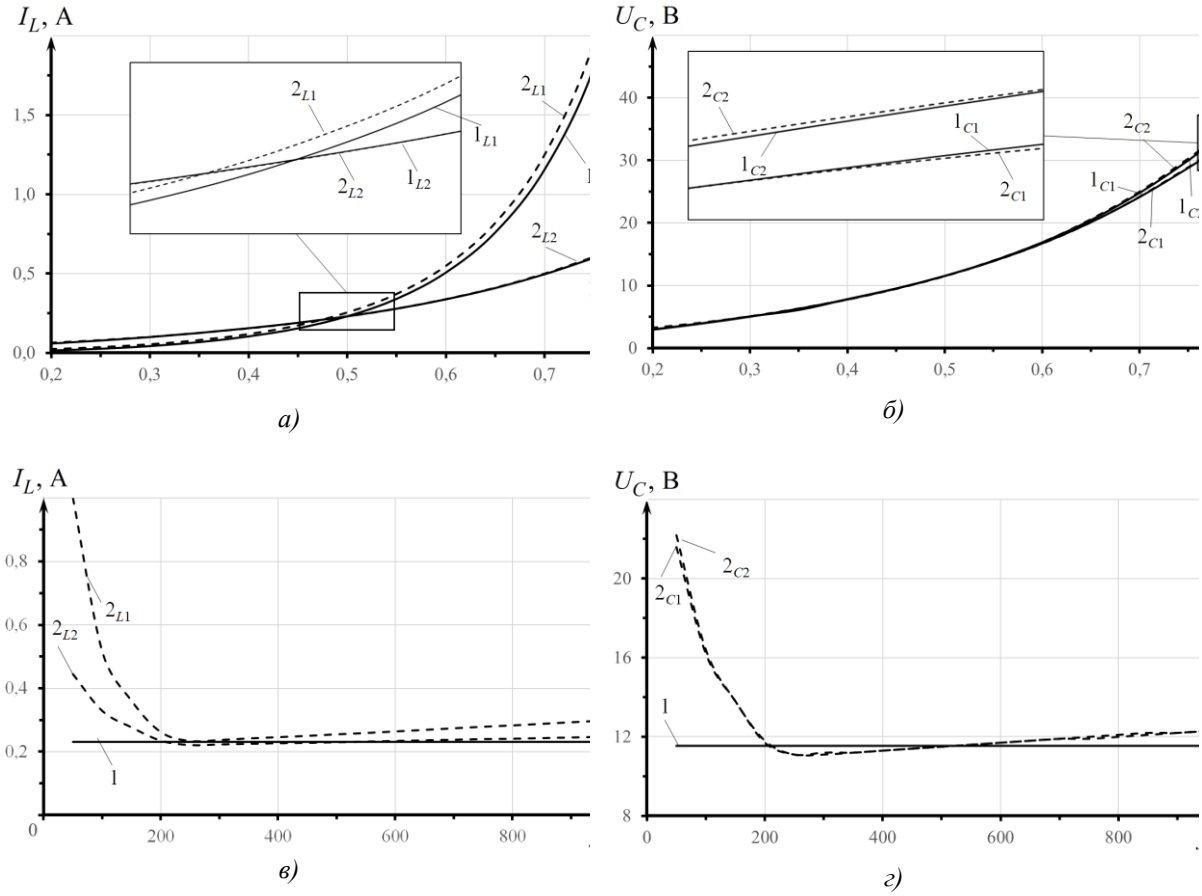


Рисунок 5 – Результаты сопоставления вычисленных значений (1), полученных на основе математической модели, и данных (2), извлеченных из процесса моделирования, представлены следующим образом: а) воздействие коэффициента заполнения на токи I_{L1}, I_{L2}; б) влияние коэффициента заполнения на напряжение U_{C1}, U_{C2}; в) изменение токов I_{L1}, I_{L2} в зависимости от частоты коммутации при коэффициенте заполнения 0.5; г) изменение напряжения U_{C1}, U_{C2} в зависимости от частоты коммутации при коэффициенте заполнения 0.5.

Информация, приведённая на рис. 5, *а* и 5, *б*, характеризует зависимость постоянных токов и напряжений от коэффициента заполнения *D*. Видна явная корреляция расчетных значений, полученных с помощью математической модели, и результатов моделирования для коэффициентов заполнения *D* изменяющихся от 0.2 до 0.8.

Заключение

Разработана математическая модель DC/DC преобразователя, построенного по Zeta топологии, учитывающая наличие связанных дросселей. Достоверность ММ была подтверждена анализом эквивалентных схем преобразователя и аналитическими расчетами. При частотах коммутации силового ключа *VT*1 выше 200 кГц расчетные значения практически совпадают с результатами моделирования, подтверждая предельность и достоверность модели. Эта модель служит основой для дальнейшего анализа и проектирования DC/DC преобразователей с Zeta топологией.

Литература

1. Коняшкин, Г. В. Оценка помехозащищенности цифровых видов модуляции / Г. В. Коняшкин, Ю. А. Полевода // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2023. – Т. 193, № 2. – С. 28-33. – EDN HFHHDX.

2. Патент № 2531695 C2 Российская Федерация, МПК A61N 1/362. Электрокардиостимулятор: № 2012156979/14: заявл. 24.12.2012: опубл. 27.10.2014 / Д. П. Казанцев, В. Ф. Щербак, Д. А. Закамалдин [и др.]; заявитель Закрытое акционерное общество "Вектор-Медицинские Системы". – EDN NAOXZK.

3. Васюков, И. В. Обзор и анализ топологий преобразователей систем электропитания на водородных топливных элементах для беспилотных летательных аппаратов киловаттного класса мощности / И. В. Васюков, А. В. Павленко, Д. В. Батищев // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2022. – Т. 65, № 2. – С. 19-26. – DOI 10.17213/0136-3360-2022-2-19-26. – EDN QFJSUJ.
4. Бабенко, В. П. Высокоэффективный повышающе-понижающий DC/DC преобразователь ZETA/Cuk с симметрично-разнополярным выходным напряжением (Часть 1) / В. П. Бабенко, В. К. Битюков // Проектирование и технология электронных средств. – 2021. – № 2. – С. 27-33. – EDN PTMVFV.
5. Бабенко, В. П. Высокоэффективный повышающе-понижающий DC/DC преобразователь ZETA/Cuk с симметрично-разнополярным выходным напряжением (Часть 2) / В. П. Бабенко, В. К. Битюков // Проектирование и технология электронных средств. – 2021. – № 3. – С. 23-30. – EDN JPQJZB.
6. Бабенко, В. П. Бездроссельный повышающий DC/DC-преобразователь / В. П. Бабенко, В. К. Битюков, А. И. Лавренов // Радиотехника и электроника. – 2023. – Т. 68, № 3. – С. 305-312. – DOI 10.31857/S0033849423030026. – EDN ICLVJV.
7. Коршунов, А. Методика построения непрерывных моделей импульсных преобразователей напряжения постоянного тока / А. Коршунов // Компоненты и технологии. – 2006. – № 8(61). – С. 124-130. – EDN MTFMUV.
8. Коршунов, А. Импульсный преобразователь напряжения постоянного тока по схеме Чука / А. Коршунов // Силовая электроника. – 2017. – Т. 4, № 67. – С. 60-66. – EDN ZQLXRR.
9. Битюков, В. К. Математическая модель DC/DC преобразователя, построенного по Zeta топологии (Часть 1) / В. К. Битюков, А. И. Лавренов, Д. А. Малицкий // Проектирование и технология электронных средств. – 2022. – № 4. – С. 53-57. – EDN SGUTFI.
10. Битюков, В. К. Математическая модель DC/DC преобразователя, построенного по Zeta топологии (Часть 2) / В. К. Битюков, А. И. Лавренов, Д. А. Малицкий // Проектирование и технология электронных средств. – 2023. – № 1. – С. 48-53. – EDN VXPIIR.
11. Битюков, В. К. Анализ пульсаций DC/DC-преобразователя, построенного по Zeta-топологии, с использованием его предельной непрерывной математической модели / В. К. Битюков, А. И. Лавренов, Д.А. Малицкий // Russian Technological Journal. – 2023. – Т. 11, № 4. – С. 36-48. – DOI 10.32362/2500-316X-2023-11-4-36-48.
12. Коршунов, А. Предельная непрерывная модель системы с периодическим высокочастотным изменением структуры / А. Коршунов // Силовая электроника. – 2021. – № 5(92). – С. 48-51. – EDN SXWXQB.
13. Коршунов, А. И. Предельная непрерывная модель системы с высокочастотным периодическим изменением структуры / А. И. Коршунов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2009. – Т. 52, № 9. – С. 42-48. – EDN KXQNHP.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ 3D-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО РЕЗЬБОНАРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

Курбанов А.З., Магомедова М.А., Вагабов Н.М.
ДГТУ Махачкала
vagabov01@inbox.ru

Статья посвящена исследованию применения 3D моделирования в проектировании высокопроизводительного резьбонарезного инструмента, позволяющего автоматизировать процесс его изготовления на основании созданной маршрутно - операционной технологической карты и процесса с применением современного станочного оборудования и инструментов.

Ключевые слова: 3Д- технология, деталь, резьба, качество, производительность, инструмент, стойкость, технологический процесс, моделирование , код, программа.

Application of modern 3D technology to create a high-performance threading tool. Kurbanov A.Z. , Magomedova M.A., Vagabov N.M. DSTU Makhachkala.

The article is devoted to the study of the application of 3D modeling in the design of a high-performance threading tool, which allows automating the process of its manufacture on the basis of the created route - operational technological map and process using modern machine tools and equipment.

Keywords: 3D technology, detail, thread, quality, productivity, tool, durability, technological process, modeling, code, program.

Введение

Отечественная станкостроительная промышленность с каждым годом увеличивает темпы выпуска и улучшает качество этого вида оборудования. Инструментальная промышленность обеспечивает это оборудование прогрессивным и работоспособным инструментом. Большие резервы улучшения качества режущих инструментов и их работоспособности заложены в использовании быстрорежущих сталей и твердых сплавов новых марок, во внедрении алмазной заточки и доводки инструментов, в использовании конструкций инструментов с оптимальной геометрией и т.д. Но в машиностроительной промышленности имеется значительный круг вопросов, который еще не привлек достаточного внимания исследователей. К ним в первую очередь необходимо отнести вопросы повышения надежности технологических операций механической обработки.

Качество и надежность выпускаемых машин и агрегатов находятся в (прямой зависимости от надежности технологического процесса их изготовления, так как при любом, даже жестком, контроле качества продукции нельзя гарантировать, что погрешности технологии изготовления не будут отражаться на качестве машин. Кроме того, в повышении надежности отдельных технологических операций и процессов заложен большой резерв повышения производительности труда.

Недостаточная надежность технологического процесса механической обработки может выражаться различными отклонениями от ожидаемой «нормы», например, нарушение требуемых точностных характеристик той или иной операции обработки, нарушение расчетных норм стойкости инструментов, выход из строя элементов системы СПИД и т. д.

В настоящей работе авторы создали прогрессивную 3D – технологию нарезания внутренних резьб малых диаметров в изделиях, изготовленных и труднообрабатываемых материалов на основе конструирования современного комбинированного инструмент зенкер- метчик [6,7,10,11,13].

Поэтому применение 3D - технологии для создания высокоточного резьбонарезного инструмента является актуальной задачей. Существующая технология не пригодна для нарезания качественных внутренних резьбовых отверстий в труднообрабатываемых материалов. Поэтому целью проводимых в данной статье исследований являются, создание современной 3D - технологии изготовления резьбовых соединений на основе использования комбинированного инструмента со специальной схемой обработки деталей для достижения высокого качества в труднообрабатываемых материалах, применяемых во всех отраслях народного хозяйства и промышленности в условиях импортозамещения.

Постановка проблемы

Задачами исследования являются:- разработка технологии и подготовка документации на процесс резания с применением комбинированного инструмента со специальной схемой резания, создание современной 3D - технологии на основе проектирования комбинированного инструмента со специальной схемой резания, который позволит нарезать резьбу высокого качества в труднообрабатываемых материалах, применяемых во всех отраслях народного хозяйства и промышленности.

Для обеспечения высокой производительности процесса создания, конструирования и изготовления высокопроизводительного резьбонарезного инструмента нами применен метод 3D - технология моделирования.

Как было отмечено выше важную роль в создании современной технологии нарезания качественных резьб играет *3D* - моделирование[4,5,8,9].

Создание *3D* - модели инструмента производится по специальной технологии. В начале необходимо создать модель объекта, от того в сравнении, какого качества модель объекта будет сконструирован и создан, зависит конечный результат. Чем больше соответствия между ними, более полным будет процесс моделирования, который носит название трехмерное моделирование.

В зависимости от решаемых задач модель объекта может быть полной (монолитной), т.е. фактически являться дубликатом реального объекта, но может отражать только какую-то его сторону, рассматриваемую в задаче. В машиностроении для проектирования узлов и деталей в основном требуется полная модель, которая должна содержать информацию, как о внешней форме объекта, так и о его внутреннем устройстве. Существуют:

1.Поверхностная модель;

2.Монолитная модель.

Представить 3D-модель можно через полигональные сетки, которые бывают следующих видов:

-Полигон – многоугольник;

-Полигон, состоящий из трёх вершин.

- Полигон, состоящий из четырёх вершин.

- Полигон, состоящий из пяти и более вершин.

Нами была разработана 3D модель(монолитная модель) на основании разработанного чертежа комбинированного инструмента зенкер- метчик, для наилучшего восприятия , либо внесении изменений в инструмент.

Методы 3D-моделирования, применяемые на производстве для изготовления инструмента

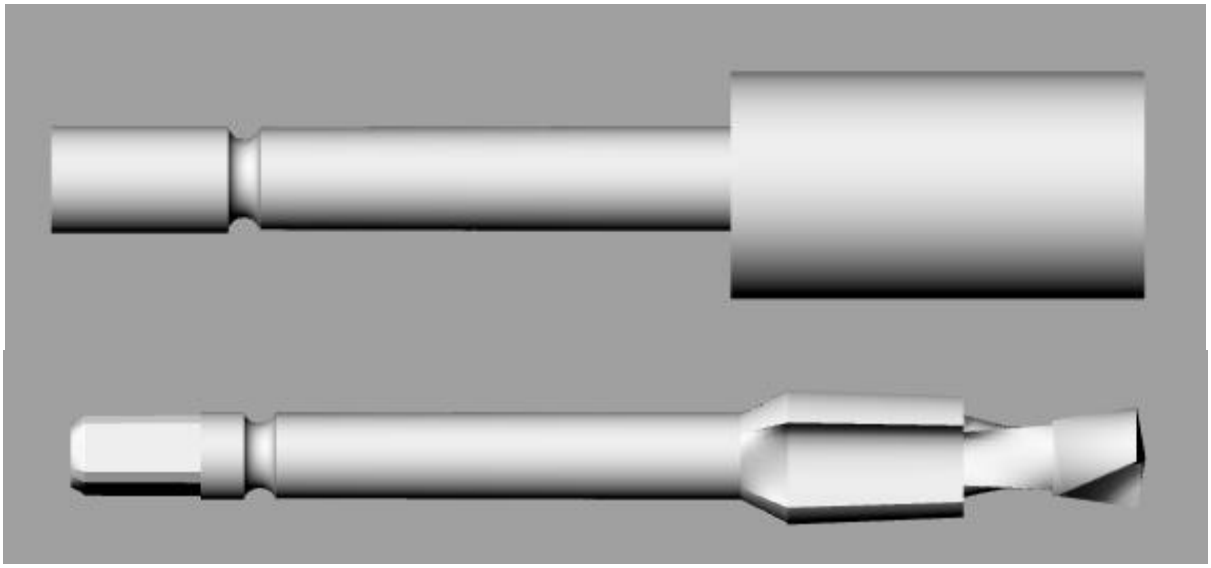


Рисунок 1-Методы 3D-моделирования, применяемые на производстве для изготовления инструмента

По итогам смоделированного зенкер метчика в 3D программе был создан необходимый программный код (см.Рис.2), для его прототипирования конечным результатом которая стала напечатанная модель (см. Рис.3)

Код для формирования напечатанной модели (рис 2.)



Рисунок 2- Напечатанная модель

Для модернизации производства и улучшение качества продукции нами в дальнейшим было использованы современные высокопроизводительные станки, которые позволили совершенствовать процесс за счет автоматизации и механизации процесса [14,15]. Результаты представлены на Рис.3

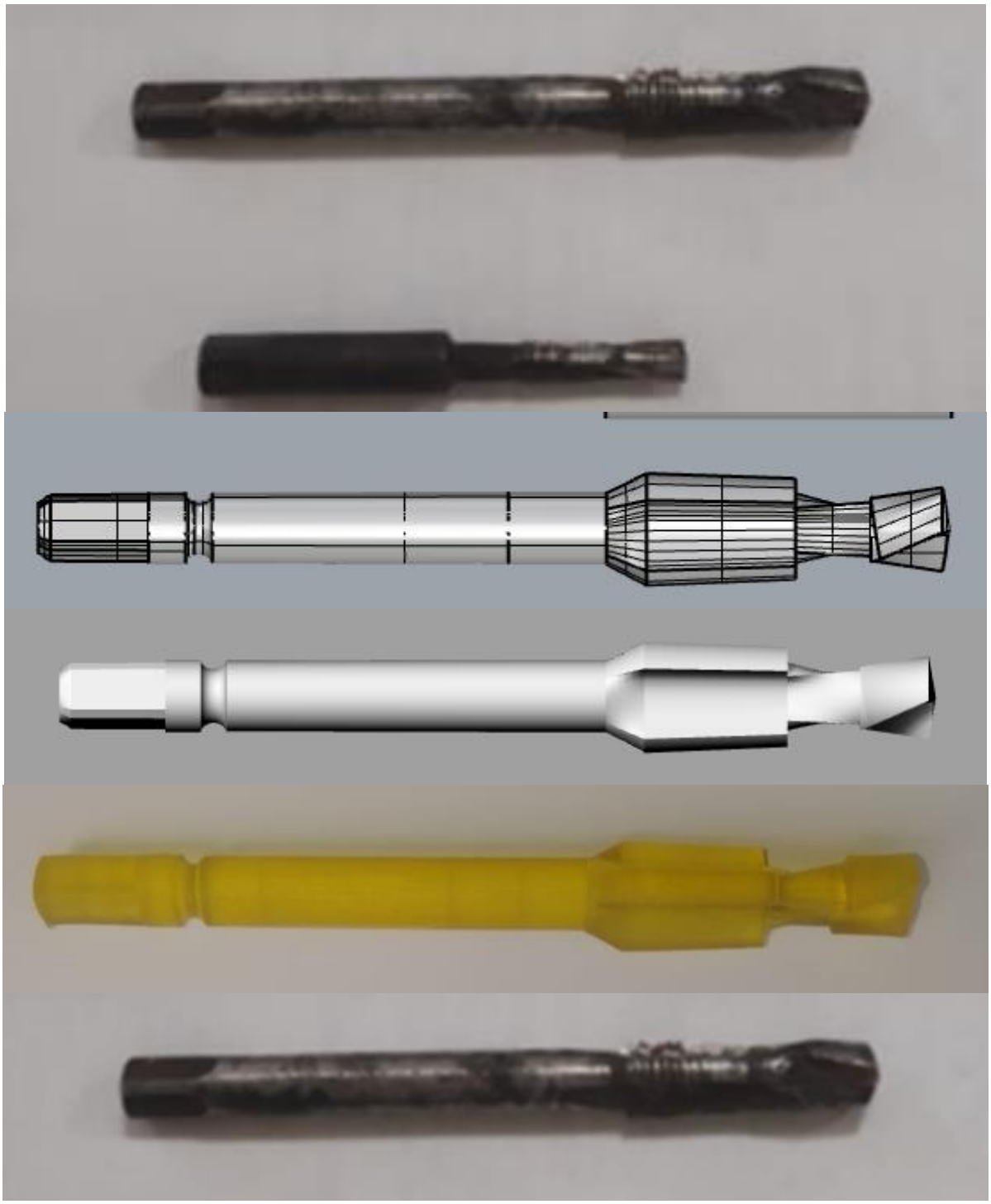


Рисунок 3- Совокупный результат модернизированного производства

Также был создан код- программа 3D модели комбинированного инструмента зенкер- метчик, представленный на Рис. 3

Заключение

Применение современной *3D* -технология (моделирования) для создания высокопроизводительного резьбонарезного инструмента, механизация и автоматизация процесса его создания позволило модернизировать процесс нарезания резьбы в труднообрабатываемых материалах, которая позволило решить главный вопрос в промышленном производстве и народном хозяйстве в условиях импортозамещения. Дальнейшие экспериментальные исследования в лабораторно - производственных условиях показало преимущество разработанной технологии, результаты которой будут опубликованы в следующей статье.

Благодарности

Статья подготовлена по результатам исследований проведенной при поддержке гранта главы Республики Дагестан.

Литература

1. Курбанов А.З., Абдуллаев А.В. Метчик для обработки труднообрабатываемых материалов **II** Авторское свидетельство №1618535 от 08.09.1990 г.
2. Курбанов А.З. Обоснование прогрессивной технологии нарезания резьб в деталях из труднообрабатываемых материалов автореф.дис. техн. науки. Ленинград, 1987, 20 с
3. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб. М. Машиностроение, 1968 – 114с.
4. Maya 6 для Windowsи MacintoshРиддел Д.
5. Основы трехмерного моделирования в 3dsMax 2009. Абасов И.
6. Режимы резания труднообрабатываемых материалов:
Справочник/Я.Л.Гуревич, М.В.Горохов, В.И.Захаров и др.изд.,перераб. И доп..-М.: Машиностроение, 1986,240с,,ил.
7. Подураев В.Н. Автоматическое регулирование и комбинированные процессы резания. М., Машиностроение, 1977 – 304с
8. 3ds Max 2009/ 3ds Max Design 2009/ Самоучитель.
9. Maya 6 для Windows и Macintosh Ридделл.
10. Петрухин П.Г. Резание труднообрабатываемых материалов. -М:Машиностроение, I980 - 230с
11. Пильников П.М. Прогрессивный режущий инструмент.Обзор, I97I -I96 с
12. Подураев В.Н. Обработка резанием жаропрочных и нержавеющих материалов. М., Высшая школа, 1965 - 245 с
13. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник/В.И.Баранчиков, А.И.Жариков, Н.Д.Юдина и др.; Под ред. В.И.Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
14. Резников Н.И. Производительная обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов.-М; Машгиз, I972 - 352 с
15. Федорцев В.А. Комбинированные ротационные инструменты. Машиностроитель. I974, № 9 с.32

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА

Шеденко В.В., Иванов И.А.*
РТУ МИРЭА, *НИУ ВШЭ
+7(901)956-64-67, ShedenkoVV@mail.ru

Статья посвящена разработке новой системы мониторинга температуры тела человека и передачи информации на мобильное устройство. Основная часть посвящена разработке программного обеспечения и устройства, разработанного на базе микроконтроллера ESP32. В статье содержатся описания этапов разработки.

Ключевые слова: датчик измерения температуры, мобильное приложение, система мониторинга температуры, прототип устройства, программное обеспечение.

Body temperature monitoring system. Shedenko V.V., Ivanov I.A. RTU MIREA.

The article is devoted to the development of a new system for monitoring human body temperature and transferring information to a mobile device. The main part is devoted to the development of software and device developed on the basis of ESP32 microcontroller. The article contains descriptions of the development stages.

Keywords: temperature measurement sensor, mobile application, temperature monitoring system, prototype device, software.

Введение

Здоровье – первое, что волнует каждого человека. В большинстве случаев состояние здоровья человека можно определить по такому понятию, как температура тела.

В современном мире с точки зрения открытия и развития нового научного и прикладного направления очень перспективным является направление разработки устройств носимой электроники медицинской направленности. Однако, многие из нас испытывают сложности в осознанном контроле своего здоровья из-за нехватки информации или неумения анализировать имеющиеся данные. Именно поэтому всё

большее количество людей пытается следить за показателями своего здоровья с помощью устройств носимой электроники.

Существуют различные технологические решения и устройства, которые помогают нам отслеживать и анализировать показатели температуры тела. Такие системы зачастую не дают точную информацию о показателях температуры или не являются портативными.

В статье будет рассмотрена разрабатываемая система мониторинга температуры тела человека, обладающая высокой точностью измерения, портативностью и возможностью задать свои настройки в мобильном приложении. Следует отметить, что система мониторинга температуры тела человека является аппаратно-программным комплексом, включающим в себя датчик измерения температуры, блок обработки информации и канал связи с мобильным устройством, а также программное обеспечение, которое обеспечивает сбор, обработку и хранение информации. Такая система соответствует классу медицинских устройств.

Система мониторинга температуры тела человека

Основная идея работы системы мониторинга температуры тела человека – использование прецизионного датчика измерения температуры. На теле человека, в подмышечной впадине посредством медицинского пластыря или специальной медицинской повязки крепится устройство. Датчик температуры расположен в нижней части устройства и имеет хороший контакт с поверхностью кожи. Устройство является очень компактным, не имеет острых углов, не причиняет дискомфорт при передвижении, корпус устройства сделан из гипоаллергенных материалов, что позволяет использовать это устройство для мониторинга состояния младенцев и людей с проблемами кожи. Данные отправляются на мобильное устройство посредством беспроводных технологий – Bluetooth Low Energy (BLE 5.0). В качестве источника питания в устройстве используется перезаряжаемый аккумулятор.

Разработка структурной схемы устройства

Блок обработки информации является главным компонентом системы, т.к. с его помощью устройство считывает значения с датчика температуры и отправляет их посредством беспроводных технологий на мобильное устройство. В качестве вычислительного блока была выбрана платформа ESP32-WROOM, так как на базе этого модуля сразу имеется антенна для передачи данных по Bluetooth Low Energy.

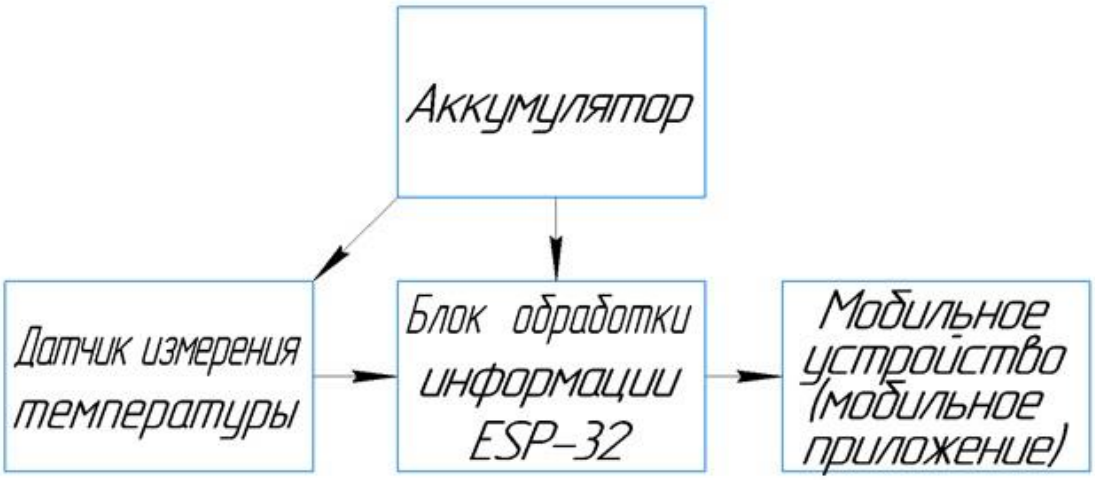


Рисунок 1 – Структурная схема устройства.

Разработка корпуса устройства

В САПР «SOLIDWORKS» разработан прототип корпуса устройства. В нижней части устройства расположен теплоотвод (1) и медицинский пластырь (2), который обеспечивает хорошее соприкосновение с поверхностью кожи, а также передаёт тепло на корпус датчика измерения температуры. Верхняя часть корпуса устройства (3) изготовлена из медицинского силикона, что обеспечивает гибкость и делает его гипоаллергенным.

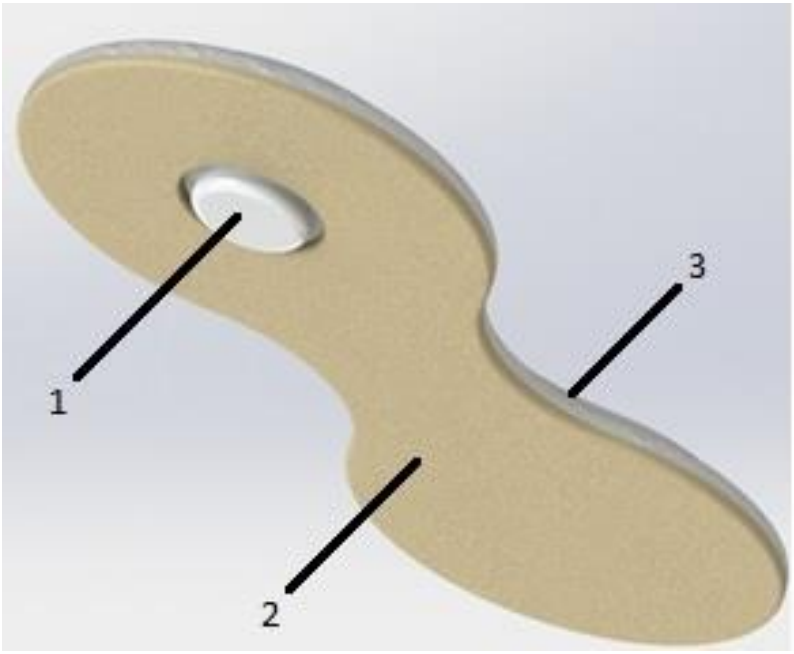


Рисунок 2 – Корпус устройства.

Сборка прототипа устройства

В настоящий момент разработан прототип устройства (рис.3) для тестирования работы датчика измерения температуры с теплоотводом. Блок обработки информации вынесен за пределы корпуса. Датчик проводами подсоединён к источнику питания – аккумулятору через стабилизатор напряжения на 3.3 Вольта. Также датчик подключен к блоку обработки информации по шине I2C. Далее приступили к написанию кода. Была написана программа, имеющая минимальный функционал, пригодный для тестирования прототипа. Данные с датчика измерения температуры выводятся в COM-порт компьютера и записываются в текстовый файл(рис.4).

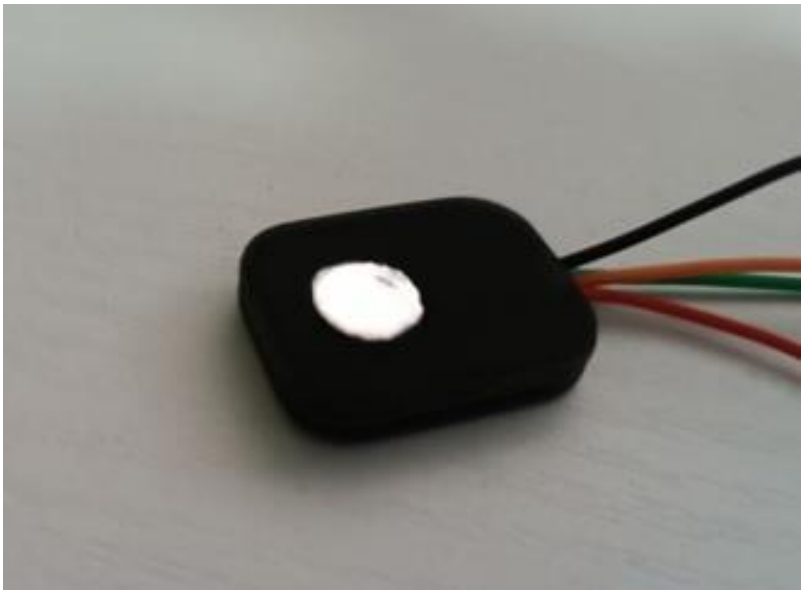


Рисунок 3 – Прототип устройства.

Разработка программного кода для устройства

Для тестирования прототипа устройства разработана программа, имеющая функционал измерения температуры тела и вывода этих данных в COM-порт компьютера.

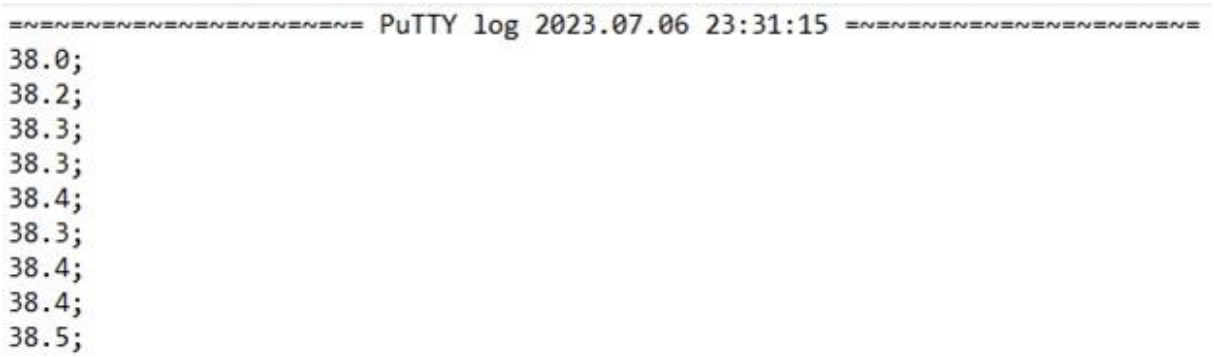


Рисунок 4 – Данные с датчика измерения температуры, выведенные в COM-порт и записанные в текстовый файл.

Сравнение с зарубежными аналогами

Существуют зарубежные аналоги устройства. Они позиционируют себя как умные часы с функцией измерения температуры тела. У них есть существенный недостаток: точно измерять температуру тела они могут только ночью, когда человек спит. Часы имеют два датчика температуры: один из них измеряет температуру поверхности кожи, второй - температуру окружающей среды. Часы получают данные с двух датчиков температуры и с помощью специальных алгоритмов определяют температуру тела. Точность таких устройств не всегда соответствует заявленной, при этом измерять температуру можно только ночью, во время сна, поэтому эти устройства не являются медицинским. В отличие от зарубежных аналогов разрабатываемая система соответствует медицинским нормам и позволяет измерять температуру тела круглосуточно.

Заключение

В работе описан процесс разработки системы непрерывного мониторинга температуры тела человека. Описаны этапы разработки функциональной схемы, программы для блока обработки информации и корпуса устройства, а также сборки прототипа. На данный момент системы измеряет температуру и выводит её в COM-порт компьютера, после чего эти данные сохраняются в текстовом файле. В настоящее время введётся работа по написания программного кода для блока обработки информации - реализация BLE-сервера для отправки данных на мобильное устройство, написания мобильного приложения с реализацией BLE-клиента для получения информации с блока обработки информации, а также доработка корпуса устройства и разработка новой топологии печатной платы.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям, грант в рамках конкурса «Студенческий стартап».

Литература

1. Калачев А. В. Основы работы с технологией Bluetooth Low Energy: учебное пособие для вузов / А. В. Калачев, М. В. Лапин, М. Е. Пелихов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 224 с.: ил. – Текст: непосредственный.
2. ESP32 Series Datasheet: [Электронный ресурс]. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. (Дата обращения: 29.08.2023)
3. Apple Watch: [Электронный ресурс]. URL: https://support.apple.com/ru-ru/HT213275. (Дата обращения: 30.08.2023)

СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ЗДАНИЙ

Фимин Д.И., Иванов И.А.
РТУ МИРЭА
lopuhov-dima1@mail.ru

Статья посвящена обзору проблем обеспечения качества воздухопроницаемости (обеспечение правильного функционирования контролируемого движения воздуха за счет системы вентиляции, и снижения неконтролируемого движения воздуха через материалы и элементы конструкций зданий),

метода оценки воздухопроницаемости помещений и ограждающих конструкций, разработке метода оценки воздухопроницаемости зданий.

Ключевые слова: воздухопроницаемость, ограждающие конструкции, утечки, движение воздуха, давление, аэродверь.

The system for checking the air permeability of premises. Fimin D.I., Ivanov I.A., RTU MIREA.

The article is devoted to an overview of the problems of ensuring the quality of air permeability (ensuring the proper functioning of controlled air movement due to the ventilation system, and reducing uncontrolled air movement through materials and structural elements of buildings), a method for assessing the air permeability of premises and enclosing structures, developing a method for assessing the air permeability of buildings.

Keywords: air permeability, enclosing structures, leaks, air movement, pressure, aerodoor.

Введение

При проектировании здания застройщики сталкиваются с такой проблемой, как уменьшение потерь тепловой энергии из этого самого помещения. Как известно, наиболее большие потери домом тепла происходят двумя способами: потеря тепла из-за теплопроводности материалов, используемых для ограждающих конструкций дома — это окна и двери, перекрытия и сами стены здания;

Потеря тепла за счет конвекции. То есть за счет переноса тепла движением воздушных масс, когда холодный воздух попадает в дом с улицы и напротив, нагретый воздух вырывается наружу. Рассмотрим подробнее второй способ. При перемещении воздуха из стен загородного дома может уходить до 40% тепловой энергии. Холодный воздух проникает в дом, также, как и теплый покидает его стены, разными способами. Принято различать контролируемое движение воздуха и неконтролируемое. К контролируемому, относятся перемещение за счет вентиляции дома. К неконтролируемому относятся пути его поступления или удаления через материалы конструкции. Неконтролируемое движение воздуха через конструкцию дома, то есть его продуваемость, в строительстве имеет свое название - воздухопроницаемость материалов. Кроме того, у этого термина существуют свои показатели.

Воздухопроницаемостью называется количество воздушной массы, которое проходит через тот или иной материал через единицу времени при разности давления на противоположных сторонах этого материала. Качество материала, которое, напротив, способно препятствовать движению через него воздуха, называется сопротивлением воздухопроницаемости.

Постановка проблемы

Мы выяснили, что обеспечение качества воздухопроницаемости (обеспечение правильного функционирования контролируемого движения воздуха за счет системы вентиляции, и снижения неконтролируемого движения воздуха через материалы и элементы конструкций зданий) является важнейшим этапом строительства любого здания. Для этого необходимы методы и средства контроля воздухопроницаемости помещений, учитывающих контролируемые и неконтролируемые движения воздуха через материалы и элементы конструкций зданий. На сегодняшний день решение этой проблемы предоставляет американская компания RETROTEC, производящая систему оценки качества воздухопроницаемости зданий, представляющей из себя аэродверь с системой барометрического контроля. Мы ставим перед собой цель изучить метод оценки качества воздухопроницаемости зданий и разработать свой, отечественный инструмент для выполнения этой оценки.

Решение

Суть тестирования качества воздухопроницаемости заключается в создании разницы давлений между внутренними помещениями и улицей. Благодаря созданному перепаду давления ограждающие конструкции здания подвергаются нагрузкам, сопоставимых с умеренным ветром, который дует на стены и конструкции здания со всех сторон одновременно. При таком подходе становится легко определить места, через которые теплый воздух покидает помещение, а холодный, соответственно, проникает (рис. 1).

Существует ряд стандартов, по которым проводится тест. Так, в российском стандарте (ГОСТ 31167-2009) норма воздухопроницаемости составляет $2 \leq n50 < 4$ (где n50 – кратность воздухообмена испытуемого помещения при разности давлений 50 Па).

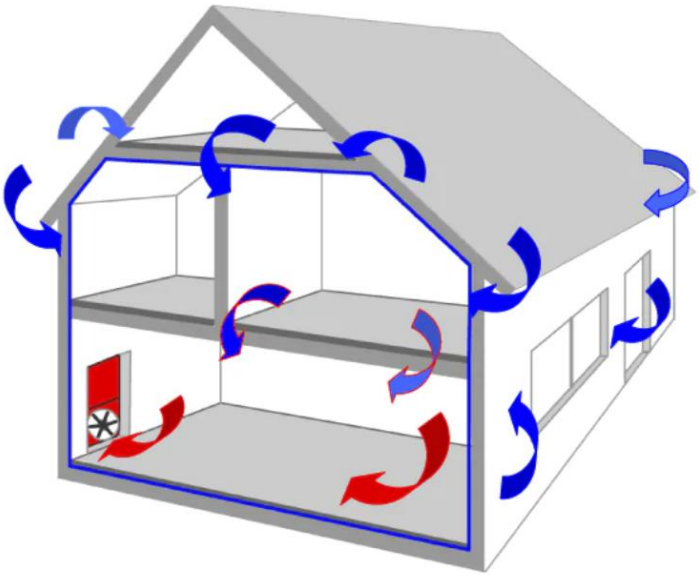


Рисунок 1 – Принцип работы системы оценки качества воздухопроницаемости зданий.

Этот показатель свидетельствует о следующем:

- здание спроектировано и построено верно;
- нет необходимости устанавливать дополнительную вентиляцию (если ее не было, или она была заизолирована в момент проведения испытаний);
- в стенах, кровле и фундаменте отсутствуют скрытые дефекты;
- теплоизоляция достаточная.

Показатели $1 \leq n50 < 2$ и ниже говорят об очень низком уровне воздухопроницаемости (рис. 2). Такие цифры свидетельствуют о том, что помещение слишком загерметизировано, и естественный приток свежего воздуха осуществляется с трудом. Если с помощью исследований получены такие данные, необходимо установить дополнительную принудительную вентиляцию (если вентиляции в момент проведения испытаний не было, или же она не была загерметизирована).



Рисунок 2 – Значения воздухообмена помещения, получаемые во время испытаний.

Высокие же значения, наоборот, говорят о том, что ограждающие конструкции здания имеют ряд дефектов и помещение вентилируется неправильно. Умеренная воздухопроницаемость ($4 \leq n50 < 6$), высокая ($6 \leq n50 < 10$) и очень высокая ($10 \leq n50$) свидетельствуют о том, что в здании имеются скрытые дефекты, через которые уходит теплый воздух. В этом случае необходимо устранить щели, заделать отверстия, загерметизировать стыки или заменить теплоизоляцию.

Для точной локализации дефектов конструкций прибегают к помощи тепловизора (рис. 3). Аэродверь обеспечивает необходимый перепад давления внутри здания, а это позволяет значительно повысить точность выявления дефектов при помощи тепловизора и обследовать, к примеру, крышу дома.

В обычных условиях теплый воздух, всегда стремящийся вверх, не позволит увидеть дефекты крыши на экране тепловизора. Аэродверь же, создавая отрицательный перепад давления, создает эффект «всасывания» воздуха внутрь помещений и позволяет, таким образом, локализовать дефекты крыши.



Рисунок 3 – Локализация воздушных течей при помощи тепловизора.

Но как же происходит само испытание помещения на герметичность? На сегодняшний день аэродвери выпускает упомянутая выше компания RETROTEC. Аэродверь этой фирмы представляют собой металлическую раздвижную раму, на которую натянуто плотное герметичное полотно, эта конструкция позволяет установить раму практически в любой дверной проем и закрепить ее. В раму встроен вентилятор, способный гнать воздух в обе стороны (создавая повышенное, работая в режиме нагнетания воздушных масс в помещение или пониженное выдувая воздух из этого самого помещения). На аэродвери имеется манометр, который контролирует заданные параметры и передает значения контроллеру, который в свою очередь посредством драйвера управляет вентилятором, увеличивая или уменьшая количество его оборотов, чтобы добиться нужного показателя разницы давлений. Помимо этого, манометр ведет подсчет, сколько воздуха прошло через вентилятор. Аэродверь оборудована, упомянутым ранее, контроллером, который позволяет корректировать мощность и обслуживать как небольшие помещения, так и крупные, до 5000 кубических метров (значение зависит от мощности вентилятора и его драйвера). Перед тем, как запустить аэродверь в работу, проводится съемка тепловизором всех поверхностей дома изнутри и снаружи. Затем закрываются все окна, двери, вентиляционные каналы, дымоходы и начинается откачка воздуха. Холодный воздух извне поступает в помещение через места дефектов, затем тепловизионная съемка проводится уже при работающей аэродвери и нужном перепаде давления. Таким образом удается понять, через какие каналы холодный воздух поступает в помещение. После выявления дефектов запускается обратный процесс — воздух нагнетается внутрь объекта, и с помощью тепловизора определяются места, через которые уходит уже теплый воздух. При этом, тепловизионная съемка происходит снаружи здания.

Заключение

Данный метод оценки качества воздухопроницаемости отлично зарекомендовал себя, как быстрый и недорогой (для конечного потребителя) способ качественно провести оценку качества воздухопроницаемости здания. Но ввиду крайне высокой цены на данное оборудование от представленной выше компании RETROTEC и отсутствием аналогов на рынке, предлагается разработать отечественный аналог, для проведения работ по оценке качества воздухопроницаемости зданий. Отечественная система должна иметь:

- универсальную раздвижную раму с отверстием для вентилятора, устанавливаемую в любые дверные проемы;
- вентилятор (ГОСТ 11442-2020) с переменной, плавно регулируемой скоростью вращения (ГОСТ 27925-88);
- микроманометр (ГОСТ 18140-84) с точностью ±2 Па со шкалой от 0 до 60 Па для измерения перепада давлений между наружным и внутренним воздухом;

- два микроманометра (ГОСТ 18140-84) с точностью ±2 Па со шкалой от 0 до 125 Па и от 0 до 500 Па для измерения перепада давлений между внутренним (наружным) воздухом и воздухом, проходящим через кожух вентилятора;
- термометр (ГОСТ 16920-93) с точностью ±1 °С со шкалой от минус 50 °С до плюс 50 °С для измерения температуры воздуха;
- барометр или барограф (ГОСТ 6359-75) с диапазоном измерения атмосферного давления воздуха, характерным для района испытания;
- анемометр (ГОСТ 6376-74) для измерения скорости ветра, нагнетаемого вентилятором;
- блок управления и обработки данных.

Конструкция на базе этих элементов будет способна с высокой точностью проводить испытания для оценки качества воздухопроницаемости зданий, построена на отечественных компонентах, соответствующих требованиям ГОСТ, а стоить (по предварительной оценке) в разы меньше зарубежного аналога.

Литература

1. Добромыслов А.Н. «Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций, зданий и сооружений» ред. 1989г.
2. Официальный электронный ресурс компании RETROTEC: https://retrotec.com/
3. ГОСТ 31167-2009.
4. ГОСТ 11442-2020.
5. ГОСТ 27925-88.
6. ГОСТ 18140-84.
7. ГОСТ 16920-93.
8. ГОСТ 6376-74.

СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КОРРЕЛЯЦИИ В НАНОГРАФИТОВЫХ ПЛЕНКАХ

Лебедев С. Г.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований РАН

Аннотация - Описываются некоторые электромагнитные свойства нанографитовых (НГ) пленок. НГ пленка - это композит нанокластеров графита размером 20-30Å, внедренных в матрицу аморфного углерода. При столь малых размерах НГ кластеров сверхпроводимость может возникать за счет притяжения электронов кластера ко всем ядрам атомов кластера. Возможность слабой сверхпроводимости в НГ пленках подтверждается измерениями обратного эффекта Джозефсона. Другой момент – скачок электросопротивления при некотором критическом токе. Кроме того, предлагается объяснение возникновения когерентного излучения при переключении проводимости за счет движения магнитных вихрей и термомагнитной неустойчивости.

Ключевые слова: эффект Джозефсона; нанографитовая пленка; сверхпроводимость; переключение сопротивления; движение магнитных вихрей.

Superconducting correlations in nanographite films. S.G. Lebedev, Federal State Budgetary Institution of Science Institute for Nuclear Research RAS

Abstract - Some electromagnetic properties of nanographite (NC) films are described. NG film is a composite of graphite nanoclusters 20-30Å in size embedded in a matrix of amorphous carbon. At such small sizes of NG clusters, superconductivity can arise due to the attraction of cluster electrons to all nuclei of cluster atoms. The possibility of weak superconductivity in NG films is confirmed by measurements of the inverse Josephson Effect. Another point is a jump in electrical resistance at a certain critical current. In addition, an explanation is proposed for the appearance of coherent radiation under conductivity switching which is due to the movement of magnetic vortices and thermomagnetic instability.

Key words: Josephson Effect; nanographite film; superconductivity; switching resistance; movement of magnetic vortices.

Введение

Исследования сверхпроводимости ведутся уже более 110 лет. Сначала изучались чистые металлы, у которых температуры сверхпроводящего перехода T_c были относительно низкими < 20К. Затем началась эра высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП), представленной перовскитами и слоистыми соединениями, T_c которых сейчас приближается к 200К. При высоких давлениях в гидридах серы, лантана и иттрия Тс еще выше (см., например, [1–2]). В 2020 г. в журнале Nature был опубликован новый рекорд для гидрида серы T_c = 15°С при давлении 267 ГПа [3].

В последнее время наблюдается значительный интерес к электромагнитным свойствам наноструктур. В теоретическом плане известны работы В.З. Кресина и Ю.Н. Овчинникова [4-5] о гигантском усилении сверхпроводящего спаривания в металлических нанокластерах. В теоретических работах К.Н. Югай [6-7] описаны особенности сверхпроводимости нанокластеров. В низкоразмерных системах необходимо учитывать граничные эффекты, которые начинают играть принципиальную роль. Если в объемных системах на электрон действуют со стороны ионов в среднем одни и те же, но разнонаправленные силы, то на границе эта симметрия нарушается. На электрон, находящийся, скажем, на левой границе нанокластера, действует кулоновская сила притяжения со стороны ионов, направленная от границы вправо вглубь системы. С другой стороны, на электрон, находящийся на правой границе нанокластера, действует та же кулоновская сила, направленная от границы вглубь системы, т. е. справа налево. Таким образом, между электронами на левой и правой границах кластера существует эффективное притяжение. Структура случайно связанных кристаллов нанографита, показанная на Рис. 1, является хорошей иллюстрацией краевых эффектов нанографитовых кластеров, поддерживающих высокотемпературную сверхпроводимость. Показано, что сверхпроводящее спаривание в этой системе может поддерживаться при температурах 300К и выше. Исследования пленок нанографита, проводимые около 30 лет [8-13], продемонстрировали наличие так называемой «слабой сверхпроводимости» при комнатной температуре и даже выше до 650К.

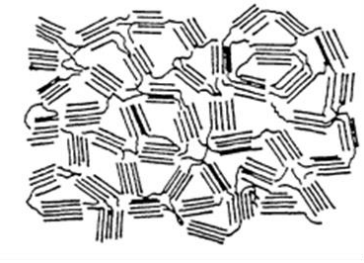


Рисунок 1 - Проводящие цепочки случайно соединенных кристаллов нанографита

Материалы и методы

Образцы НГ пленки, использованные в данной работе, были изготовлены методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) напылением на внутреннюю поверхность кварцевой трубки. Процесс CVD в газе изобутане протекает при термической активации, при нагреве до 950°C. Термический нагрев газа происходит при его вводе в кварцевую трубку, помещенную в трубчатую печь. В таком CVD-процессе в течение 30 минут был получена нанографитовая пленка, толщиной около 1 микрометра.

Согласно исследованию [14], структуру пленок NG можно представить как смесь наноразмерных графитовых sp^2-связанных кластеров, внедренных в аморфную матрицу. Структуру НГ пленки можно рассматривать в качестве беспорядочно связанных нанокристаллов графита (см. Рис. 1). Часть образцов пленки была получена распылением спектрально чистого графита в дуговом электронном разряде (метод CA) с последующим отжигом пленки при температуре около 1000°C в течение около 10 часов. Свойства и структура нанографитовых пленок, полученных методами CVD и CA, совпадают, что можно выявить с помощью измерений методом комбинационного рассеяния. Характерный спектр комбинационного рассеяния нанографитовой пленки показан на Рис. 2, где можно увидеть D-пик комбинационного рассеяния при 1360 $см^{-1}$ и пик G при 1600 $см^{-1}$. Величина этих пиков описывает различные формы неупорядоченной структуры углерода. Как показано в [15], соотношение высот пиков D и G связано с размером нанокристаллов графита. Равенство высоты пиков D и G на Рис. 2 свидетельствует о нанокристаллах графита размером около 20-30 Å.

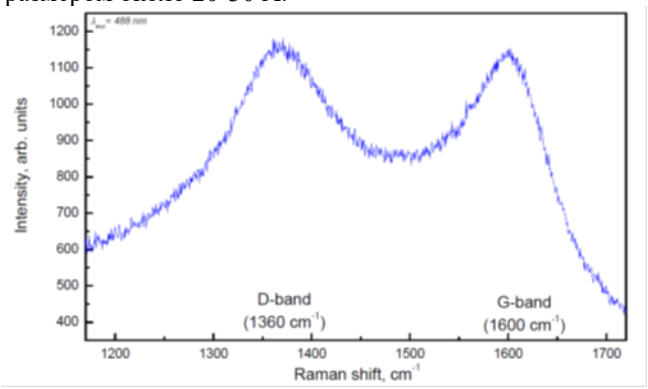


Рисунок 2 - Спектр комбинационного рассеяния типичной НГ пленки

Обратный эффект Джозефсона (RJE)

Другое специфическое свойство образцов НГ пленки связано с преобразованием переменного тока в постоянный и его зависимостью от температуры, представленной на рис. 3. Феномен выпрямления переменного тока был продемонстрирован как появление постоянного напряжения V_{dc} при нагрузке высокочастотным током (ВЧ) с напряжением V_{ac}. Подобное явление хорошо изучено в обычных сверхпроводниках. Температурное поведение V_{dc} изучалось с помощью электрической схемы из работы [16] при напряжении переменного тока V_{ac} = 10 В и частоте ВЧ f = 1 МГц. Как видно, величина постоянного напряжения на образце НГ пленки экспоненциально уменьшается в зависимости от температуры и стремится к нулю при температуре T~650K. Картина аналогична процессам, многократно зафиксированным при исследованиях традиционных низкотемпературных [17] и высокотемпературных [16] сверхпроводников. В дальнейшем согласно результату работы [18] при наблюдении глобальной фазовой когерентности при комнатной температуре в пленке нанографита температура обнуления V_{dc} на рис. 3 будет принята как температура сверхпроводящего перехода пленки нанографита T_c = 650K

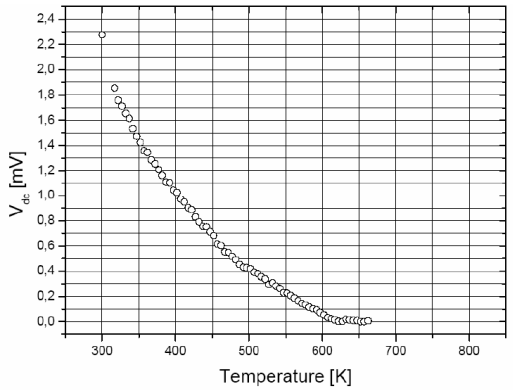


Рисунок 3 - Температурная зависимость обратного эффекта Джозефсона. Напряжение постоянного тока, индуцированное микроволновым сигналом, обнуляется при T=650K

Эффект переключения в НГ пленках

При исследовании проводимости нанографитовых пленок обнаружено возникновение скачкообразного увеличения удельного электросопротивления на ~4-6 порядков величины из-за увеличения транспортного тока до некоторой критической величины [9]. Критический транспортный ток снижается с температурой и в комнатных условиях имеет значения 5 - 500 мА (в зависимости от условий осаждения НГ пленки, размеров образца и подводящих контактов) при постоянном напряжении в диапазоне 5-100 В. вольт-амперная характеристика и электрические коммутационные процессы в НГ пленке представлены на рисунке 4. Как видно, наряду с желтой кривой тока показаны красная кривая напряжения и зеленая - мощности. Особенностью состояния «ВКЛ» является линейное возрастание тока с ростом напряжения на пред коммутационной стадии. Вблизи точки переключения ток проявляет некоторую нелинейность. В точке переключения ток резко переходит в метастабильное состояние «ВЫКЛ», где удельное электрическое сопротивление выше, чем в состоянии «ВКЛ» на четыре-шесть порядков величины. После отключения напряжения образец возвращается в состояние «ВКЛ» с малым удельным сопротивлением, и переключатель может работать повторно. Механизм переключения проводимости в нанографитовых пленках обсуждается уже много лет [9–13], и, похоже, только сейчас это обсуждение может быть завершено; подробности приведены ниже.



Рисунок 4 - ВАХ НГ пленки толщиной 1 мкм на кварцевой подложке при комнатной температуре. Как видно, отключение тока предшествует отключению напряжения, т.е. отключение происходит по внутренней причине, однозначно связанной исключительно с величиной тока.

Оптическое излучение в процессе переключения

Процесс переключения в нанографитовой пленке сопровождается резким повышением температуры, что вызывает оптическое излучение. Это излучение регистрировалось с помощью фотодиода [11]. Схема регистрации оптических импульсов показана на рис.5. Зависимость напряжения фотодиода от времени регистрации показана на рис.6. Как видно, зарегистрированные пики оптических импульсов располагаются на дискретных уровнях энергии с фиксированным расстоянием между ними ΔE=0,0022097 эВ, что соответствует частоте излучения $0{,}53\times10^{12}$ Гц. Точная фиксация уровней до седьмого знака указывает на когерентность излучения и его аналогию с уровнями Ландау [13].

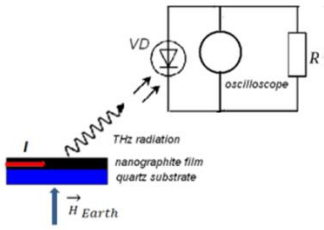


Рисунок 5 - Схема регистрации оптических импульсов

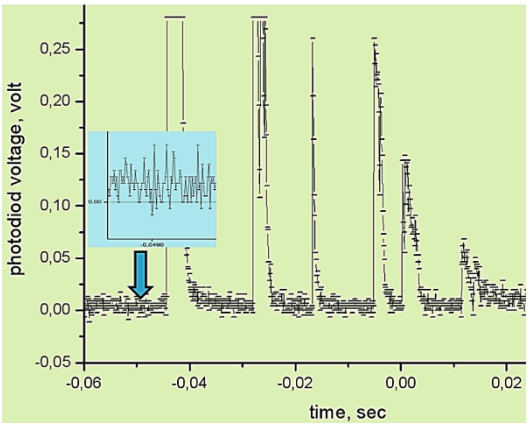


Рисунок 6 - Зависимость напряжения на фотодиоде от времени регистрации

Как видно, импульсы разделены временными интервалами $\Delta t=5\cdot10^{-6}$сек. Периодическое появление оптических импульсов можно объяснить движением квантов магнитного потока, связанным с захватом магнитного поля Земли протекающим током в НГ пленке. При толщине НГ пленки 1 мкм скорость движения квантов магнитного потока за счет влияния магнитного поля Земли составляет 0,2 м/сек.

Резкие оптические скачки на Рис. 6 соответствуют магнитным импульсам лавинообразного магнитного потока, возникающего из-за термомагнитной неустойчивости [19]. Для проверки гипотезы термомагнитной неустойчивости проанализируем Рис.6 более подробно. Определим отношение коэффициентов магнитной D_m и тепловой D_t диффузии:

$$\tau=\frac{D_m}{D_t}=\frac{\mu_0\sigma K}{C}, \qquad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}$ Гм$^{-1}$ — магнитная постоянная, σ=100 Ом$^{-1}$м$^{-1}$ — проводимость, K=130 Вт·м$^{-1}$К$^{-1}$ — теплопроводность, $C=7\cdot10^5$ Дж·м$^{-3}$К$^{-1}$ – теплоемкость нанографитовой пленки, тогда $\tau \cong 10^{-8}<<1$. Это соответствует случаю жесткого сверхпроводника с вязким магнитным потоком, когда время изменения магнитного потока много меньше времени изменения температуры. Что очень важно, в адиабатическом режиме работы нанографитовой пленки тепло, создаваемое резким изменением магнитного потока, выделяется мгновенно и локально и не может диффундировать из-за охлаждения в рассматриваемом масштабе времени. Как видно из Рис.6, размеры магнитных лавин превышают 0,3 эВ по энергетической шкале. Магнитный поток в НГ пленке, соответствующий границе области термомагнитной устойчивости, можно определить с помощью выражения [19]:

$$B \le \frac{\pi}{2}\sqrt{\mu_0 T_c C(T_c)\left(\frac{T_0}{T_c}\right)^3\left(1-\frac{T_0}{T_c}\right)}, \qquad (2)$$

где T_0 – температура окружающей среды, магнитная индукция B определяется количеством уровней Ландау в данной точке Рис.6. Оценка выражения (2) дает $B \le 5{,}44$ Т. Магнитное поле ΔB, соответствующее минимальной разности энергий между уровнями Ландау ΔE=0,0022097 эВ, определяется известным выражением:

$$\Delta B = \frac{\Delta E m_e^*}{e\hbar} = 0.66 \text{ Т}, \qquad (3)$$

где $m_e^* = 0{,}03 m_e$ — эффективная масса электрона, e — заряд электрона, $\hbar$ — постоянная Планка. Расчет уровней Ландау до начала лавин магнитного потока на Рис. 6 дает значение магнитного потока B_1 = 5,4 Тл, что согласуется с оценкой по соотношению (2). Исходя из адиабатичности скачка магнитной лавины, можно предположить, что вся ее энергия преобразуется в теплоту, которая выделяется мгновенно и локально, тогда повышение температуры в первой лавине T_j на Рис./6 превысит значение (из-за насыщения сигнала фотодиода, окончательная величина скачка не определена):

$$T_j > E_{max}/k_B \cong 3500\text{K}, \qquad (4)$$

где E_{max} =0,3 эВ — максимальная энергия, регистрируемая фотодиодом, k_B — постоянная Больцмана. Как видно на Рис. 6, оптический импульс вводит фотодиод в режим насыщения, поэтому максимальная энергия лавины, а значит, и температура могут быть выше. И только малая длительность импульса не приводит к плавлению кварцевой подложки. Результирующая температура вызывает мгновенный коллапс сверхпроводимости в нанографитовой пленке. Существенной особенностью процесса переключения в нанографитовых пленках является выгорание материала в малой точке непосредственно под контактом питания. Локальность процесса по величине и времени свидетельствует против наивного термического механизма горения. Другой причиной могут быть вихревые магнитные лавины, которые всегда начинаются на поверхности пленки [20].

Измерения тока Джозефсона в нанографитовой пленке

Другим проявлением сверхпроводящей когерентности нанографитовой структуры могло бы стать наблюдение стационарного эффекта Джозефсона, т.е. протекания сверхпроводящего тока при нулевом напряжении, которое впервые наблюдалось в работе [18]. Для измерения ВАХ использовался источник-измеритель Keithley4200. Измерения проводились по 4-х проводной (Кельвин) схеме с использованием триаксиального кабеля и 4-х позиционеров и датчиков Кельвина, а также зондовой станции. Зондовая станция необходима для фиксации образца, фиксации измерительных зондов с манипуляторами и микроскопом, чтобы можно было визуально расположить концы зондов на контактных площадках образца. Измеренная ВАХ показана на Рис. 9.

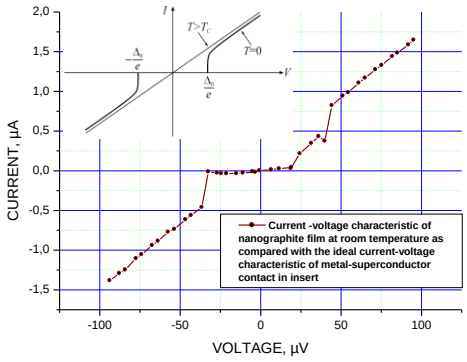


Рисунок 9 - ВАХ НГ пленки при малых токах и комнатной температуре

Основной кадр на Рис. 9 показывает экспериментальную ВАХ нанографитовой пленки, измеренную при комнатной температуре. Две указанные ВАХ аналогичны. Отличие заключается в величине напряжения перехода ВАХ на омическую ветвь. Для НГ пленки это значение соответствует критическому току 0,8 мкА и отличается от значения сверхпроводящей щели, так как напряжение перехода соответствует началу движения магнитных вихрей при их отрыве от центров пиннинга. Критический ток отрыва вихря от барьера Бина-Ливингстона составит $I = 2H_{cm} \sim 9$ мкА, что на порядок выше критического тока ~0,8 мкА, который можно извлечь из данных Рис.9. Возможные объяснения полученного различия могут быть связаны с термоактивируемым механизмом преодоления барьера Бина-Ливингстона при высоких критических температурах.

Обсуждение

Принципиальная возможность сверхпроводимости при комнатной температуре, а возможно, и при более высоких температурах, вплоть до 650К (см. Рис. 3), предполагает возможность существования смешанной фазы, состоящей из движущейся вихревой решетки и одиночных вихрей. В такой фазе существуют как нормальные области ядер вихрей, так и их сверхпроводящие токи на периферии вихрей. Смешанная фаза очень стабильна и разрушается либо при достижении критической температуры 650К, либо при критическом токе, который намного превышает ток 0,8 мкА на Рис. 9 и может достигать сотен

ампер. В этом случае появляется возможность объяснить скачок сопротивления на Рис. 4 разрушением смешанной фазы. А так как скачок сопротивления происходит при токе всего лишь 0,15 А, что заведомо ниже возможной величины в сотни ампер, то можно предположить, что разрушение смешанной фазы на Рис. 4 происходит при превышении критической температуры. Действительно, простые оценки показывают, что температура на Рис. 4 может достигать 1000К. Эта оценка не учитывает наличие сверхпроводящей фазы. Ее наличие можно учесть, решив уравнение теплопроводности с отводом тепла за счет излучения.

$$\boldsymbol{T(R)} = \left(\frac{\boldsymbol{P}}{\boldsymbol{2æσ}} + \boldsymbol{T_0^4}\right)^{\frac{1}{4}}, \quad (5)$$

где $P=I\cdot V= I^2R$ — мощность тепловыделения электрического тока в НГ пленке, R — сопротивление смешанной сверхпроводящей фазы, I — ток, протекающий между контактами нанографитовой пленки, V — напряжение на контактах пленки, æ – коэффициент излучения нанографитовой пленки (≅1), σ =5,67•10-12 Вт/см^2/К^4 – постоянная Стефана-Больцмана, T_0 ≅300К – температура окружающей среды. Как видно из представленного выражения (5), температура НГ пленки линейно зависит от сопротивления смешанной фазы в пленке. Описание смешанной фазы в сверхпроводниках второго рода дано в работе [21], где показано, что сопротивление смешанной сверхпроводящей фазы R_m связано с сопротивлением нормальной фазы R_n соотношением:

$$\boldsymbol{R_m \cong 1.1 R_n B / H_{C_2}(T = 0)}, \quad (6)$$

где B — магнитная индукция внутри НГ пленки. В выражении (6) единственной неопределенной величиной является внутренняя магнитная индукция B, которую можно оценить по числу уровней Ландау на вставке Рис.6. Переход на следующий более высокий уровень Ландау увеличивает магнитную индукцию на величину:

$$\Delta \boldsymbol{B} = \frac{\Delta E m_e^*}{e\hbar} \ . \quad (7)$$

Оценка выражения (7) дает ΔB ≅0,6Т, а количество уровней Ландау ≅ 8-10, тогда R_m≅0,07-0,13R_n. Подставляя значение R_m вместо R в выражение (5), получаем Т=522 -609К и соответствующий сверхпроводящий критический ток для случая однородного сверхпроводника из теории Гинзбурга-Ландау для тонкой пленки вблизи критической температуры будет $I_c= I_c(0)(1-T/T_c)^{3/2}$ [22] в диапазоне (0,0874 – 0,0162)I_c, где I_c =10^9 А/м^2[18]. При размерах питающих контактов около 2 мм^2 для НГ пленки, толщиной 1 мкм критический ток будет в пределах (0,175 - 0,0324)А, что согласуется с экспериментальным значением 0,15А на Рис.4. Как видно, критический ток переключателя увеличивается с увеличением размеров питающих контактов. Наличие смешанной фазы при температурах до 650К позволит использовать нанографитовую пленку во многих приложениях для снижения тепловыделения, например, при покрытии такой пленкой внутренней поверхности резонаторов протонных и ионных ускорителей.

Литература

1. Drozdov, A. P., Eremets, M. I., Troyan, I. A., Ksenofontov, V., & Shylin, S. I. (2015). Conventional superconductivity at 203 kelvin at high pressures in the sulfur hydride system. //*Nature*, *525*(7567), 73-76.

2. Somayazulu, M., Ahart, M., Mishra, A. K., Geballe, Z. M., Baldini, M., Meng, Y., ... & Hemley, R. J. (2019). Evidence for superconductivity above 260°K in lanthanum superhydride at megabar pressures. //Physical review letters, 122(2), 027001.

3. Snider, E., Dasenbrock-Gammon, N., McBride, R., Debessai, M., Vindana, H., Vencatasamy, K., ... & Dias, R. P. (2020). Room-temperature superconductivity in a carbonaceous sulfur hydride. //Nature, 586(7829), 373-377.

4. Kresin V.Z., Ovchinnikov Yu. N. "Giant" enhancement of superconducting pairing in metal nanoclusters: a strong increase in the transition temperature and the possibility of superconductivity at room temperature // Uspekhi fizicheskikh nauk. - 2008. - T. 178. - No. 5. - S. 449-458 (in Russian).

5. Kresin, V. Z., & Ovchinnikov, Y. N. (2006). Shell structure and strengthening of superconducting pair correlation in nanoclusters. //Physical Review B, 74(2), 024514.

6. Yugai K.N., Topologicheskaya sverkhprovodimost nanostructur //Vestnik Omskogo Universiteta. – 2013. – №. 2 (68) – P. 104-107 (in Russian).

7. Yugay K.N., On the mechanism of superconductivity in nanoscale structures // Vestnik Omskogo Universiteta. – 2010. – N. 4. - P. 88-94 (in Russian).

8. Lebedev S. G., Topalov S. V. Observation of Weak Superconductivity in Carbon Films //Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 1994. – №. 12. – P. 14-20.

9. Lebedev S. G. Field-effect switching in nano-graphite films //Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2014. – V. 75. – №. 9. – P. 1029-1032.

10. Lebedev S. G. Particle irradiation for verification of superconducting-like behavior in carbon arc films //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2004. – T. 521. – №. 1. – P. 22-29.

11. Lebedev S. G. Evidence of Josephson-like behavior of thin granular carbon films //International Review of Physics. – 2008. – Т. 2. – №. 5. – P. 312-328.

12. Lebedev S. G. Unconventional electromagnetics in carbonaceous materials. – New York : Nova Science Publishers, 2010. – P. 107.

13. Lebedev, S. G. (2020). Traces of superconducting correlations in nanographite films. //Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 31(23), 20883-20898.

14. Wang C. Z., Ho K. M., Chan C. T. Tight-binding molecular-dynamics study of amorphous carbon //Physical review letters. – 1993. – Т. 70. – №. 5. – P. 611.

15. Chu P. K., Li L. Characterization of amorphous and nanocrystalline carbon films //Materials chemistry and physics. – 2006. – Т. 96. – №. 2-3. – P. 253-277.

16. Munger R., Smith H. J. T. High-temperature reverse ac Josephson Effect in $YBa_2Cu_3O_7$ //Physical Review B. – 1991. – V. 44. – №. 1. – P. 242.

17. Sadate-Akhavi H. et al. Observation of rf-induced dc voltages in sputtered binary superconducting films //Solid state communications. – 1984. – Т. 50. – №. 11. – P. 975-978.

18. Lebedev S.G. "Josephson Effect in nanographite films"//Journal of Technical Physics, 2022, volume 92, N. 12, P. 1867-1869.

19. Mints, R. G., and A. L. Rakhmanov. "Critical state stability in type-II superconductors and superconducting-normal-metal composites." Reviews of Modern Physics 53.3 (1981): 551.

20. Laviano, F. (2017). Vortex avalanches in superconductors visualized by magneto-optical imaging. Vortices and Nanostructured Superconductors, 133-157.

21.Gorkov L.P., Kopnin N.B. The motion of vortices and the electrical resistance of superconductors of the second kind in a magnetic field // Uspekhi fizicheskikh nauk. - 1975. - V. 116. - No. 7. - P. 413-448 (in Russian).

22. Abrikosov, A. A. (1987). Fundamentals of Metal Theory.

МГНОВЕННАЯ ЗАПУТАННОСТЬ МНОГОКУБИТОВЫХ СИСТЕМ

Боева А.В., Стадная Н.П., Клинских А.Ф.
Воронежский государственный университет

В мире квантовой физики, понятие запутанности представляет собой захватывающий феномен, который выходит за рамки классической интуиции. В то время как классические системы подчиняются принципам детерминизма и локальности, квантовые системы проявляют свойства, которые нарушают эти привычные представления. Запутанность, также известная как квантовая корреляция, представляет собой явление, когда состояния двух или более квантовых объектов становятся такими взаимосвязанными, что их описания нельзя разделить на независимые состояния [1]. Исследование квантовой запутанности в современном мире имеет большое практическое значение, несмотря на то, что природа этого явления до конца не изучена [2].

Ключевые слова: запутанность, квантовые системы, чистые состояния, состояния Белла, кубит.

Instant entanglement of multi-qubit systems. Boeva A.V., Stadnaya N.P., Klinskikh A.F., Voronezh State University.

In the world of quantum physics, the concept of entanglement is an exciting phenomenon that goes beyond classical intuition. While classical systems obey the principles of determinism and locality, quantum systems exhibit properties that violate these familiar concepts. Entanglement, also known as quantum correlation, is a phenomenon when the states of two or more quantum objects become so interconnected that their descriptions cannot be divided into independent states [1]. The study of quantum entanglement in the modern world is of great practical importance, despite the fact that the nature of this phenomenon is not fully understood [2].

Keywords: entanglement, quantum systems, pure states, Bell states, qubit.

Введение

Квантовая запутанность является глубокой и загадочной областью, которая продолжает вдохновлять ученых и исследователей, расширяя наше понимание квантового мира и предоставляя новые инструменты для инноваций и развития.

В квантовой теории, запутанность выражается через понятие неразложимости векторов состояний. Рассматривая чистые состояния, описываемые квантовыми волновыми функциями, невозможно представить вектор состояния всей системы в виде тензорного произведения векторов подсистем [3,4]. С точки зрения физики, это означает, что запутанные системы демонстрируют сильную корреляцию между своими состояниями, несмотря на расстояние между ними. Запутанность всей системы

можно количественно описать, вычисляя для каждого кубита степень запутанности [5] и усредняя затем по всем кубитам:

$$\tau(i)=4\det(\rho_i), \tag{1}$$

где ρ_i представляет собой матрицу плотности i-го кубита, вычисленную путём взятия частичного следа по остальным кубитам.

Постановка проблемы

Запишем вектор состояния в гильбертовом пространстве 2-х кубитовой системы в виде:

$$|\psi\rangle=(x_0 \quad x_1 \quad x_2 \quad x_3)^T \tag{2}$$

где x_0, x_1, x_2, x_3 - произвольные комплексные числа, удовлетворяющие условию нормировки:

Если система из двух кубитов запутана, то её вектор состояния не факторизуется:

$$x_0 x_3 \neq x_1 x_2 \tag{3}$$

Для двухкубитовой квантовой системы, находящейся в чистом состоянии, матрица плотности имеет вид:

$$\rho_{AB}=\begin{pmatrix} x_0x_0^* & x_0x_1^* & x_0x_2^* & x_0x_3^* \\ x_1x_0^* & x_1x_1^* & x_1x_2^* & x_1x_3^* \\ x_2x_0^* & x_2x_1^* & x_2x_2^* & x_2x_3^* \\ x_3x_0^* & x_3x_1^* & x_3x_2^* & x_3x_3^* \end{pmatrix} \tag{4}$$

Чтобы найти запутанность кубита B необходимо выполнить свёртку матрицы плотности по кубиту A:

$$B_0=I_{2B}\otimes\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix},\ B_1=I_{2B}\otimes\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} \tag{5}$$

$$\rho_B=\begin{pmatrix} x_0x_0^*+x_2x_2^* & x_0x_1^*+x_2x_3^* \\ x_1x_0^*+x_3x_2^* & x_1x_1^*+x_3x_3^* \end{pmatrix} \tag{6}$$

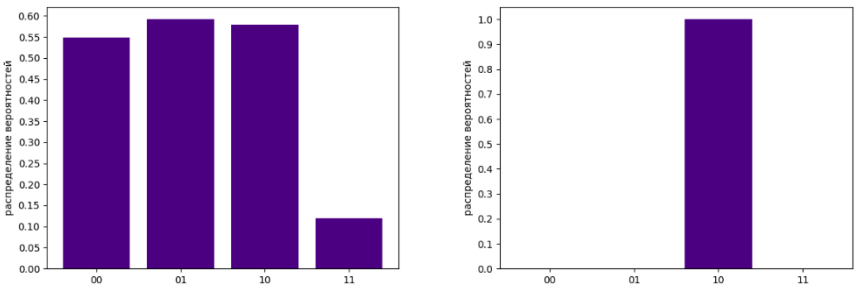


Рисунок 1 – Распределение вероятностей по состояниям.

Мгновенную запутанность двухкубитовой системы можно определить по формуле (1), и это будет достаточно просто, но что делать в случае, когда в системе большее число кубитов?

Рассмотрим другой метод нахождения мгновенной запутанности квантовой системы в чистом состоянии.

В случае двух кубитов мгновенную запутанность можно вычислить по формуле:

$$\tau=4\begin{vmatrix} x_0 & x_1 \\ x_2 & x_3 \end{vmatrix}^2 \tag{7}$$

Для одного кубита n-кубитовой системы можно найти значение мгновенной запутанности:

$$\tau=4\sum_{i=0}^{2^{n-1}-2}\sum_{j=i+1}^{2^{n-1}-1}\begin{vmatrix} x_{2i} & x_{2i+1} \\ x_{2j} & x_{2j+1} \end{vmatrix}^2 \tag{8}$$

Таблица 1 – Количество слагаемых в формуле мгновенной запутанности

n, число кубитов в системе	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество слагаемых в сумме	1	6	28	120	496	2016	8128	32640

В таблице 1 приведено количество слагаемых в формуле (8) для систем с различным числом кубитов. Очевидно, что число слагаемых определяется по формуле:

$$N = 2^{2n-3} - 2^{n-2}, \tag{9}$$

где n – число кубитов в системе.

Рассмотрим произвольную трёхкубитовую систему:

$$|\psi\rangle_{ABC} = x_0|000\rangle + x_1|001\rangle + x_2|010\rangle + x_3|011\rangle + x_4|100\rangle + x_5|101\rangle + x_6|110\rangle + x_7|111\rangle \tag{10}$$

Найдём необходимую систему условий, при выполнении которых кубит С не запутан:

$$\begin{aligned} x_0x_3 &= x_1x_2, \\ x_0x_5 &= x_1x_4, \\ x_0x_7 &= x_1x_6, \\ x_2x_5 &= x_3x_4, \\ x_2x_7 &= x_3x_4, \\ x_4x_7 &= x_5x_6 \end{aligned} \tag{11}$$

Для трёхкубитовой системы формула (8) принимает вид:

$$\begin{aligned} \tau_3 = 4\Bigg(&\begin{vmatrix} x_0 & x_1 \\ x_2 & x_3 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} x_0 & x_1 \\ x_4 & x_5 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} x_0 & x_1 \\ x_6 & x_7 \end{vmatrix}^2 + \\ &\begin{vmatrix} x_2 & x_3 \\ x_4 & x_5 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} x_2 & x_3 \\ x_6 & x_7 \end{vmatrix}^2 + \\ &\begin{vmatrix} x_4 & x_5 \\ x_6 & x_7 \end{vmatrix}^2 \Bigg) \end{aligned} \tag{12}$$

Пусть система из трёх кубитов находится в одном из состояний Гринбергера - Хорна - Цайлингера [6]:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|000\rangle + |111\rangle\right) \tag{13}$$

Тогда по формуле (12) мгновенная запутанность последнего кубита будет равна 1.

Пусть теперь система из трёх кубитов находится в суперпозиции:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt[4]{2}}(|0\rangle + |1\rangle)|0\rangle(|0\rangle - |1\rangle) = \frac{1}{\sqrt[4]{2}}(|000\rangle - |001\rangle + |100\rangle - |101\rangle) \tag{14}$$

Подставляя значения коэффициентов в выражение для запутанности последнего кубита (12), получаем 0.

Отсюда понятен смысл формулы мгновенной запутанности (8). Когда кубит С не запутан с кубитами А и В, формула (12) приводит к результату 0. В случае, когда кубит С максимально запутан с одним из кубитов, то вклад в запутанность даёт только одно из произведений x_ix_j, присутствующее в (8).

Заключение

В работе рассмотрено явление запутывания кубитов в физических системах, находящихся в чистых состояниях. Получена формула для определения мгновенной запутанности кубита в системе, которая обращается в 0, если выполняются условия для коэффициентов, при которых кубит не запутан с остальными кубитами.

Исследования в области квантовой запутанности имеют огромное значение не только для фундаментальной науки, но и для практических применений. Возможности квантовой запутанности

находят отражение в современных квантовых технологиях, таких как квантовые вычисления и квантовая криптография. Понимание и контроль над этим феноменом открывают новые перспективы для научных открытий и технологических достижений в будущем.

Литература

1. Нильсен, М. Квантовые вычисления и квантовая информация / М. Нильсен, И. Чанг. — М. : МИР, 2006. — 824 с.
2. Валиев, К. А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления / К. А. Валиев // Успехи физических наук. — 2005. — Т. 175, № 31. — С. 3–39.
3. Кронберг, Д. А. Алгебраический аппарат квантовой информатики / Д. А. Кронберг, Ю. И. Ожигов, А. Ю. Чернявский. — М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2009. — 56 с
4. Запрягаев, С. А. Квантовые информационные системы. Теория и практика применения / С. А. Запрягаев. — СПб. : БХВ-Петербург, 2023. — 320 с.
5. Стиб, В.-Х. Задачи и их решения в квантовых вычислениях и квантовой теории информации / В.-Х., Стиб, Й. Харди. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007. – 296 с.
6. Гриффитс, Д. Дж. Введение в квантовую механику: пер. с англ. - М.: Бином. Лаборатория знаний; Невский Диалект, 2014. - 598 с.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ МОНИТОРИНГА ВЛАЖНОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Хаджийская Е.Ю., Иванов В.С.
РТУ МИРЭА
+7 (916) 772 75 37, hadzhijskaya@mirea.ru

Аннотация — В работе подробно рассмотрены существующие технологии мониторинга влажности природного газа в процессе добычи и транспортировки. Приведены все достоинства и недостатки каждого метода. В заключение был обоснован выбор технологии TDLAS (перестраиваемая диодная лазерная спектроскопия) для разработки аналога анализатора влажности природного газа.
Ключевые слова: анализаторы влажности, влага, природный газ, методы определения.

Existing solutions for monitoring the moisture of natural gas. Khadzhiyskaya E.Yu., Ivanov V.S. MIREA — Russian Technological University, Moscow.
Abstract — The paper considers in detail the existing technologies for monitoring the humidity of natural gas during production and transportation. All advantages and disadvantages of each method are given. In conclusion, the choice of TDLAS (tunable diode laser spectroscopy) technology for the development of an analog of a natural gas humidity analyzer was justified.
Key words: moisture analyzers, moisture, natural gas, determination methods.

Введение

Газодобывающая область в настоящий момент является одной из самых важных в отечественной промышленности. В природном газе пары влаги находятся в равновесном содержании. Когда происходит добыча или транспортировка газа по магистральным трубопроводам, меняются термодинамические условия, такие как давление и температура. Из-за этого пары влаги конденсируется, создавая различные проблемы, вплоть до выхода их строя технологических установок подготовки газа или взрыва газопровода.

Исходя из всего вышеперечисленного, влажность природного газа необходимо измерять точным и скоростным методом, при этом с наименьшей погрешностью измерений.

Существуют разные методы определения влажности природного газа, такие как охлаждаемые зеркала, электролитические на основе пятиокиси фосфора, емкостные датчики, кварцевые датчики, диодная лазерная спектроскопия

Анализаторы влажности на основе технологии охлаждаемых зеркал

Конденсационная технология (также используется название «технология охлаждаемого зеркала» или «chilled mirrors») это прямое измерение температуры точки росы газа без использования расчетов по дополнительным параметрам.

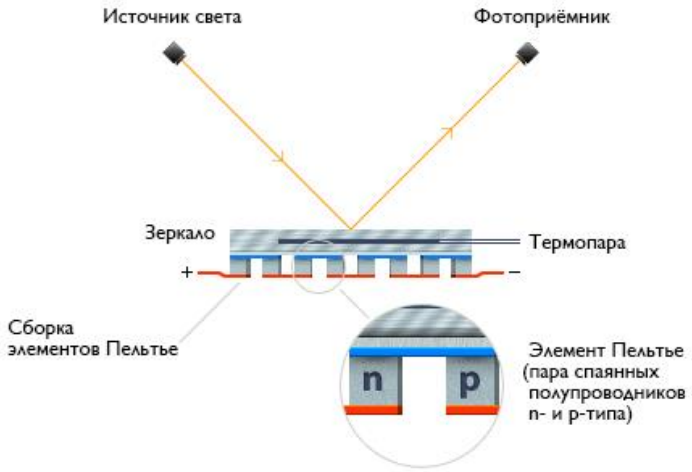


Рисунок 10 – Принцип действия технологии охлаждаемых зеркал

Технология заключается в подачи газа в камеру с зеркалом миниатюрного размера, которое сделано из высококачественной нержавеющей стали. Зеркало закрепляется на тепловом насосе, работа которого основана на эффекте Пельтье.

На поверхность зеркала направляется пучок параллельного света. Как показано на рисунке 1, фотоприемник регистрирует интенсивность отраженного света. В идеальном случае интенсивность отраженного свет должна быть равна интенсивности падающего света.

Для того чтобы измерить температуру точки росы охлаждают зеркало, при этом газ в камере тоже охлаждается. Как только температура зеркала становится равна температуре точки росы проверяемого газа, конденсат осаждается на зеркало. Падающий свет рассеивается в виде капель и из-за этого фотоприемник фиксирует снижение интенсивности отраженного света. Чтобы снизить погрешность измерений в камеру дополнительно устанавливают приемник, регистрирующий рассеянный свет.

Большим плюсом использования технологии охлаждающих зеркал заключается в том, что весь процесс полностью автоматизирован и требует присутствия квалифицированного специалиста. Содержание влаги измеряется в режиме реального время. При этом термоэлектрический элемент поддерживает температуру, максимально приближенную к температуре точки росы.



Рисунок 11 – Анализаторы влажности FAS-W (Вымпел), температуры точки росы Chandler, по углеводородам 241 CE II

Существенным недостатком технологии охлаждающих зеркал является загрязнение поверхностей зеркал различными твердыми механическими частицами и каплями масла. Таким образом снижается интенсивность отраженного света и точность измерений падает. Во всех анализаторах влажности подобного типа необходимо устанавливать систему динамического контроля чистоты поверхности зеркал. Система контроля основана на принципе нагрева зеркала до температуры 100 °C. При такой температуре с поверхности зеркала испаряется вода и остаются только загрязнения, а интенсивность отраженного света берется за точку отсчета. Система подает сигнал, что нужно провести очистку оптических приборов, если

значение интенсивности очень маленькое. Зеркала, источники света и фотоприемники необходимо регулярно очищать дистиллированной водой или, например, изопропиловым спиртом.

Электролитические анализаторы влажности на основе пятиокиси фосфора (P_2O_5)

Принцип работы электролитических анализаторов влажности основан на количественном законе электролиза Майкла Фарадея. Благодаря такому подходу, процесс проверки соответствия проведенных измерений нормативным стандартам, а также процесс поверки, значительно упрощаются. Анализаторы такого типа используют тогда, когда требуется определить в относительно чистой среде количество влаги природного газа в заданном диапазоне.

Патент на изобретение электрохимических анализаторов принадлежит компании Ametek Process Instruments (ранее компания носила название DPI - DuPont Instruments). В данный момент компания, к сожалению, уже не выпускает такие приборы.

Если диапазон концентраций достаточно мал, то время отклика будет весьма длительное. В принципе, как и в анализаторах влажности, работающих по технологии охлаждающих зеркал. Все дело в так называемом равновесном измерении влажности. Однако электрохимические анализаторы достаточно хорошо реагируют на повышение количества влаги и при это весьма медлительно на уменьшение.



Рисунок 12 – Анализатор влажности газов Systech-Illinois, серия MM500

Рабочий диапазон электролитических анализаторов влажности природного газа достаточно небольшой, [20 ppm; 2000 ppm]. Если количество влаги ниже 20 ppm, то возникает риск высушивания P_2O_5 и часть порошка просто испаряется. Также при таком уровне влажности из-за диссоциации воды появляются малые токи утечки. Если количество влаги выше 2000 ppm, то тогда пятиокись фосфора быстро напитывается водой, что вызывает появление и рост сложнокристаллических образований, которые портят измерительную ячейку.

Самым большим минусом электролитических анализаторов влажности считается отсутствие возможности отличить влагу от метилового спирта или, например, диэтиленгликоля, который используется в системах осушки. Анализатор «рассматривает» всю смесь компонентов, который присутствуют в проверяемом образце природного газе, хотя должен реагировать только на чистое содержание влаги без разных примесей. Именно поэтому анализаторы такого типа не используются, например, в установках для осушки газа или в аппаратах осушки кристаллическими алюмосиликатами. Да и калибровка таких анализаторов по сути является расчетной.

Второй минус электрохимических анализатором является невозможность изменить поверочные параметры чувствительного элемента, даже в том случае, когда было замечено расхождение результатов измерений с существующим эталонным числом влаги. Но можно устранить такое несоответствие, если нанести свежий слой P_2O_5 или полностью прочистить измерительную ячейку.

Анализаторы влажности на основе технологии кварцевых датчиков

Анализаторы влажности, работающие по технологии кварцевых датчиков («quartz crystal microbalance»), еще также именуют пьезокристаллическими анализаторами влажности. Они обладают рекордной чувствительностью и работают в большом диапазоне измерений влаги [1 ppm; 10 000 ppm].

Такие анализаторы применяют, чтобы полностью автоматизировать процесс в установках осушки газа ДЭГом или кристаллическими алюмосиликатами. Также их используют в технологических схемах риформинга природного газа и при получении олефинов (алкены, этиленовые углеводороды).



Рисунок 13 – Анализаторы влажности газов серии 3050 и модели 5000

В основе анализаторов влажности на кварцевых датчиках лежит принцип неравновесного измерения, то есть такие анализаторы практически не реагируют на наличие в газовом образце примесей CH_4, что, естественно, считается несомненным достоинством. Состав же анализируемого природного газа никак не влияет на результаты измерений, потому что в качестве эталонного образца используют то же самый газ, но который уже прошел дорогостоящую процедуру осушки.

Для того чтобы избежать загрязнений исследуемого образца газа парами диэтиленгликоля, метана, каплями масла применяют так называемый асимметричный цикл измерения (30 с выделено на анализ, 570 с уходит на сравнение с эталонным газом). При таком используемом цикле достаточно сильно снижается время взаимодействия газовой пробы с кварцевым датчиком. Сам же датчик в процессе цикла дополнительно продувается предварительно очищенным сухим газом. При этом любые минеральные масла испаряются из-за существенной разницы между парциальными давлениями и высокой температурой в измерительной ячейке (60 °C). За время прохождения асимметричного цикла измерения ячейка полностью восстанавливает все свои функции.

Пьезокристаллические анализаторы влажности достаточно часто применяют в установках разделения газа методом глубокого охлаждения благодаря большому рабочему диапазону. Но в этом случае необходимо установить специальную систему, которая бы обеспечивала отбор проб газа и доставку небольшего количества воды до анализатора.

Самые главные недостатки анализаторов такого типа: высокая стоимость кварцевых датчиков и необходимость технического обслуживания (чистка сенсора от различных загрязнений).

Анализаторы влажности на основе технологии емкостных датчиков

Главный плюс анализаторов влажности на основе оксида алюминия или диоксида кремния – это небольшая стоимость чувствительного элемента. Также немаловажными достоинствами являются простота эксплуатации, защита от различных взрывов и возможность реализации многоканальных измерений.

Но если проводить измерения влажности на потоке природного газа, то появляются существенные недостатки.

Так как анализаторы влажности такого типа являются равновесными анализаторами, то емкостные датчики в них имеют достаточно большое время отклика, когда количество влаги в образце снижается. Если, например, диапазон составляет [100 ppm; 20 ppm], то время отклика датчика будет равняться приблизительно 30 мин., а вот в диапазоне [20 ppm; 10 ppm] время отклика уже будет около 1 часа. Из-за этой особенности анализаторы влажности, работающих на емкостных датчиках, невозможно использовать в установках осушки природного газа, которые используют кристаллические алюмосиликаты

Еще одно слабое место анализаторов с емкостными датчиками – это отсутствие возможности использования в установках осушки, которые используют ДЭГ. Датчик, когда его монтируют в анализируемый поток газа, быстро покрывается тонким налетом диэтиленгликоля и начинает измерять содержание влаги в получившейся пленке, а не с самом исследуемом газе.

А если использовать анализаторы в магистральном газопроводе, появляется точно такая же проблема. Через какой-то промежуток времени поверхность датчика покрывается разнообразными

загрязнениями, такими как остатки смазочного масла, кристаллические соединения (клатраты), нефтяные высокомолекулярные масла.

Также емкостные анализаторы влажности не способны различить влагу от метилового спирта в исследуемом газе, они выдают сигнал, который пропорционален их массовой концентрации в потоке.

Отклонение измеренного значения величины влажности от её истинного (действительного) значения в анализаторах на емкостных датчиках очень большое. Происходит это из-за расчетного значения температуры точки росы, потому что измеряется только парциальное давление паров воды. А если температура ниже минус сорока градусов Цельсия, то не существует ГОСТов или ASTM, нормирующие такой перевод. То есть все измерения ниже –40 ℃ являются произвольными. Для корректировки приходится дополнительно получать значения температуры. По сути измерения температуры точки росы оказываются весьма приблизительными.



Рисунок 14 – Анализатор влажности Panametrics moisture IQ

Также существует проблема адекватной калибровки анализаторов, работающих на емкостных датчиках, всему виной неисправный дрейф нуля, который появляется в результате остаточных химических реакций, производимых при получении кремнезёма SiO_2. Калибровку может произвести только изготовитель у себя на заводе. Каждые шесть месяцев датчик нужно извлекать из прибора и отправлять поставщику на поверку.

Все вышеперечисленные непреодолимые недостатки ограничивают широкое применение анализаторов влажности на основе емкостных датчиков в газовой промышленности. Все сильнее захватывают лидерство лазерные анализаторы влажности.

Анализаторы влажности на основе технологии TDLAS

Разрабатываемая система мониторинга влажности природного газа основана на технологии TDLAS - перестраиваемой диодной лазерной спектроскопии.

Диодная лазерная спектроскопия — это метод измерения концентрации веществ (например, водяного пара или метана) в среде (чаще газовой смеси) с учётом абсорбционных свойств самого вещества. При этом используются так называемые перестраиваемые диодные лазеры.

Сокращенное название технологии TDLAS пошло от английского определения: «Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy». Буква «T» («Tunable», то есть перестраиваемый) подчёркивает значение этой особенности диодных лазеров в абсорбционной спектроскопии, то есть в спектроскопии поглощения.

Данная технология имеет следующие преимущества:

- Высокая точность;
- Работа в непрерывном режиме;
- Быстрый отклик;
- Бесконтактность.

Анализаторы влажности, работающие по технологии TDLAS, в основном применяют на узлах учета природного газа. Их отличительная особенность – это избирательная чувствительность к содержанию чистой влаги и при этом нечувствительность к другим составляющим сложной газовой смеси.

Один из главных плюсов перестраиваемой диодной лазерной спектроскопии - способность измерять количество влаги при достаточно низких значениях концентрации, вплоть до одной молекулы вещества на миллиард молекул газовой смеси. Немаловажным преимуществом технологии TDLAS также является возможность измерять различные параметры анализируемого потока природного газа, такие как давление, температура, скорость, плотность, помимо самой концентрации влаги.

Литература

1. Прокопов, С. В. Влияние давления газа на измерение температуры точки росы сорбционно-емкостными датчиками / С. В. Прокопов, Л. А. Бабушкин // Газовая промышленность. – 2019. – № 10(791). – С. 36-41.
2. Лебедков, Г. А. Исследования технологий измерения конденсата и влажности природного газа и устройства газовых анализаторов / Г. А. Лебедков, А. В. Сириченко // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов XV-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 19–20 марта 2020 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 179-182.
3. Brokarev, I. A. Recurrent neural networks to analyze the quality of natural gas / I. A. Brokarev, M. P. Farkhadov, S. V. Vaskovskii // Tomsk State University Journal of Control and Computer Science. – 2021. – No 55. – P. 11-17. – DOI 10.17223/19988605/55/2.
4. Cassidy, D. T.; Reid, J. (1982-04-01). “Atmospheric pressure monitoring of trace gases using tunable diode lasers”. Applied Optics. The Optical Society. 21 (7): 1185–1190. [Электронный ресурс, дата обращения 29.07.23]
5. Khadzhiyskaya E.Yu., Pokrovskaya M.V. TDLAS technology in the design of a device for assessing the humidity of natural gas // Information Innovative Technologies (I2T). 2022. P. 202-206.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРИОДА ИНДУКЦИИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОПЛИВ НА УДАРНОЙ ТРУБЕ

Яновский Л.С [1,2], Ежов В.М.[1,2], Червонная Н.А[1], Ильина М.А[1,2]
[1.]ФИЦ ПХФ и МХ РАН [2.]ЦИАМ им П.И. Баранова
+7 (496) 522-44-74, **E**-mail: office@icp.ac.ru

Статья посвящена определению октанового числа топлив в качестве альтернативы штатному методу с помощью моторного стенда. Предложен метод оценки детонационной стойкости топлив с помощью ударной трубы. Проведены исследования периода индукции воспламенения (ПИВ) модельных топлив с известными значениями октановых чисел на основе н-пентана и этанола в стехиометрическом соотношении с воздухом. Исследования проводились в падающих ударных волнах в диапазоне температур 700-2000 К и давлений 0,9-1,4 атм. Установлена высокая корреляция полученных значений ПИВ модельных топлив с их значениями октановых чисел. Проведена апробация метода на образцах биоэтанольного топлива. Получены удовлетворительные результаты соответствия значений октанового числа на ударной трубе.

Ключевые слова: ударная труба, топливо, октановое число, биоэтанол, период индукции воспламенения.

Studies of the fuel ignition induction period on the impact pipe. Yanovsky L.S. [1,2], Yezhov V.M[1,2], Chervonnaya N.A, Ilyina M.A[1,2], 1 FIC PCF and MX RAS , 2. CIAM named after P.I. Baranova.

The article is devoted to determining the octane number of fuels as an alternative to the standard method using a motor stand. In order to reduce the labor intensity of determining the octane number of fuels, as an alternative to the standard method using a motor stand, a method for assessing the detonation resistance of fuels using a shock tube is proposed.Ignition induction period of model fuels with known values of octane numbers based on n-pentane and ethanol in stoichiometric ratio with air was studied. Studies of the period were carried out in incident shock waves in the range of temperatures 700-2000 K and pressures 0.9-1.4 atm.. A high correlation of the obtained PIV values of model fuels with their octane values has been established.

Keywords**:** shock tube, fuel, octane number, bioethanol, ignition induction period.

Введение

На современном этапе развития двигателестроения в качестве основных показателей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) рассматриваются показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов.

Двигатели являются основным источником выбросов токсичных веществ в атмосферу, вследствие чего, одним из приоритетных направлений модернизации ДВС, является улучшение их экологических показателей, в первую очередь – показателей токсичности отработанных газов.

Вместо классических атмосферных ДВС рассматривается применение экологичных и энергоэффективных двигателей с применением технологий прямого впрыска и турбонаддува или реализации принципа воспламенения от сжатия гомогенного заряда (HCCI) [1]. Одновременно с требованиями к ДВС изменяются требования к топливу.

Эксплуатация этих типов двигателей возможна, как правило, на высокооктановых топливах, которые могут быть получены, в том числе, добавлением кислородсодержащих соединений к низкооктановым компонентам.

В настоящее время разработаны и применяются топливные композиции, содержащие до 20-40% масс кислородсодержащих добавок. Введение в рецептуру кислородсодержащих веществ позволяет снизить количество образующихся парниковых газов и повысить детонационную стойкость топлива [1].

Детонационная стойкость топлива выражается октановым числом и определяется с помощью модельного двигателя.

Октановое число - это показатель, который характеризует детонационную стойкость топлива, применяемого в двигателях внутреннего сгорания, т.е. показывает стойкость бензина к самовоспламенению при повышении давления от сжатия поршнем ДВС. Октановое число может быть повышено добавкой кислородсодержащих соединений в количестве до 40 % масс.

Штатные методы определения октанового числа, основанные на определении детонационной стойкости топлива при повышении степени сжатия в цилиндре моторной установки, трудоёмкие. Это затрудняет создание перспективных высокооктановых топлив.

Авторы [2] показали, что значение октанового числа бензина однозначно связано с его периодом индукции воспламенения (ПИВ). ПИВ – период времени, необходимый для воспламенения топливовоздушной смеси после её нагрева до температуры самовоспламенения. Эта характеристика не зависит от организации рабочего процесса в камере сгорания и зависит от химической природы соединения. Для определения ПИВ широко применяются ударные трубы. Они позволяют определить период задержки воспламенения топливовоздушной смеси после её нагрева ударной волной до температуры в диапазоне 700-2000К и более [3]. Метод определения ПИВ на ударной трубе характеризуется меньшей трудоёмкостью и большей точности результатов в сравнении с моторным методом оценки октанового числа.

Экспериментальная часть

Целью нашей работы является исследования ПИВ топлива и сопоставление полученных значений со значениями октановых чисел в целях разработки метода оценки детонационной стойкости топлив на ударной трубе.

Исследования проводились со смесями углеводородов и спиртов. Эксперименты проводились на установке ударная труба, схема которой приведена на рис. 1.

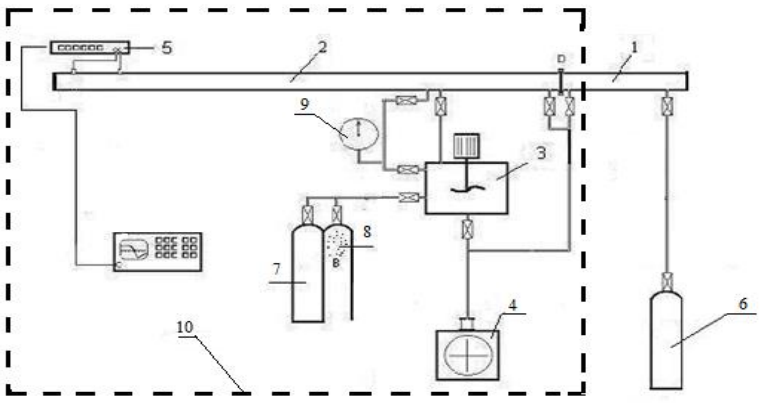


Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки
1 – камера высокого давления, (КВД), 2 – канал низкого давления, (КНД), 3 – смеситель, 4 – вакуумный насос, 5 – пьезоэлектрические датчики и фотоэлектронный умножитель, 6 – баллон с газом-толкателем, 7 – сосуд с жидким углеводородом, 8 – воздушный фильтр, 9 – манометр, 10 – обогреваемый контур.

КНД и КВД имеют внутренний диаметр, равный 76 мм. Длина КВД равна 1,5 м, а КНД – 4,5 м. КВД установлена на ролики и может откатываться назад для быстрой замены металлической диафрагмы, разделяющей КВД и КНД. Вблизи торцевой части КНД размещены пьезоэлектрические датчики и оптическая система с электрическим фотоумножителем.

Компоненты топлива могут быть жидкими и газообразными. В случае недостаточно высокого давления насыщенных паров жидких компонентов предусмотрена система подогрева образца и основных элементов ударной трубы. Воздух предварительно очищается от пыли и осушается.

После подготовки в смесителе топливовоздушная смесь набирается в предварительно дегазированный КНД. Остаточное давление не превышает 10-3 мм рт. ст. Контроль соотношения компонентов смеси, количества смеси в КНД и утечки трубы выполняется с помощью манометра.

При достаточном перепаде давлений в КНД и КВД происходит разрыв металлической диафрагмы и формируется ударная волна. В качестве газа-толкателя может быть использован инертный газ или водород в зависимости от объекта исследований.

Топливовоздушная смесь сжимается и нагревается фронтом ударной волны. Измеряются скорость фронта ударной волны (v_1) и лабораторное время задержки воспламенения (t_1).

Термодинамические параметры за фронтом ударной волны определяются с помощью известных соотношений [4-6]. При определении ПИВ ($t_{пив}$) в падающей волне учитывается скорость движения увлекаемого ей газа V_2:

$$t_{пив} = \frac{t_1}{1 - \frac{V_2}{D}}$$

Скорость V_2 рассчитывается при помощи соотношений [5] на ударной волне, движущейся с известной скоростью D по покоящемуся газу.

Эксперименты проводились с модельным топливом: в качестве объекта исследований выбраны смеси н-пентана и этанола. Октановое число н-пентана по исследовательскому методу составляет 61,7, этанола – 125. Проведено исследование периода индукции воспламенения (ПИВ) смесей модельного топлива с воздухом в стехиометрическом соотношении при различных давлениях на установке ударная труба. В качестве газа-толкателя использовался гелий. Выбранная газовая смесь нагревалась ударной волной до высоких температур (700-1500К), генерируемых в установке при давлениях за фронтом волны 0,9-1,4 атм.

Заключение

В ходе экспериментов определен ПИВ модельного топлива с соотношением этанола и н-пентана по массе 40/60, 90/10, 15/85, а также каждого из компонентов в стехиометрическом соотношении с воздухом. Результаты определения ПИВ, приведены на рисунке 2.

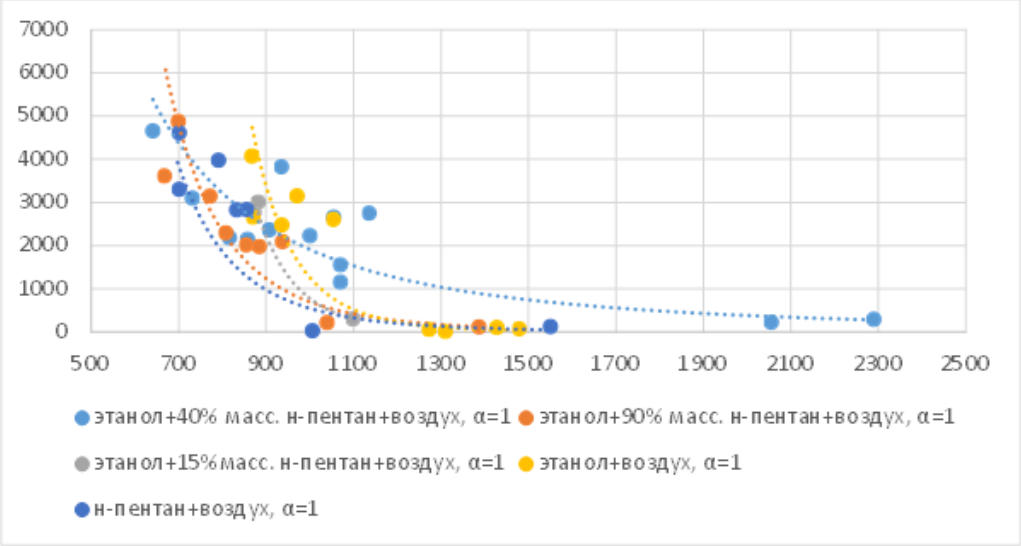


Рисунок 2 – Зависимость ПИВ этанола, н-пентана и их смесей от температуры: $t_{пив}$(mks) от T(K)

Из рисунка видно, что ПИВ этанола, н-пентана и их смесей экспоненциально снижается с повышением температуры и зависимости ПИВ от температуры неплохо укладываются в концепцию монотонного изменения значений ПИВ компонентов и их смесей от вещества с меньшим ПИВ к веществу с большим ПИВ.

Из полученных результатов можно сделать вывод: изучение ПИВ топлив на ударной трубе позволяет установить связь между значениями ПИВ и октановых чисел топлив, а, в дальнейшем, расширить массив данных по ПИВ топлив и их компонентов.

Благодарности

Исследования проведены в рамках госзадания № АААА-А19-119120690042-9.

Литература

1. Ершов М.А. Разработка перспективных высокооктановых топлив для автомобильной техники: диссертация доктора технических наук: 2.6.12 / Ершов Михаил Александрович; [Место защиты: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина]. - Москва, 2023. - 378 с.

2. Арутюнов В.С., Беляев А.А., Трошин К.Я. Об использовании метан-водородных смесей в двигателях внутреннего сгорания // Химические технологии и продукты // № 3-4, - 2009. – С. 5-17 .

3. Yanovskiy L.S., Arifiev K.Yu., Ezhov V.M. The period of ignition delay for Methane-Air mixture with hydrogen and ethylene additives «Applied sciences», 2021, №11, 10515

4. Ступоченко Е.В., Лосев С.А., Осипов А.И. Релаксационные процессы в ударных волнах. М.: Наука, 1965.

5. Huang J., Hill P.G., Bushe W .K., Munshi S.R., // Combust. Flame. 2004. V. 136. P. 25.

6. Riddick, J.A., W.B. Bunger, Sakano T.K. Techniques of Chemistry 4th ed., Volume II. Organic Solvents. New York, NY: John Wiley and Sons., 1985., p. 122.

DOI:10.24411/2310-8266-2019-10401

ГЛАВА 3. АНТЕННЫ, СВЧ ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНВАРИАНТОВ СЕСТРОРЕЦКОГО ДЛЯ СИНТЕЗА ФИЛЬТРОВ С УНИКАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Конов К.И.
Национальный исследовательский университет “Московский авиационный институт”
+7 (977) 474-43-06, konov.k.i@gmail.com

Статья посвящена описанию методики топологического синтеза СВЧ фильтров с использованием инвариантов Сестрорецкого. Применение методики позволяет на этапе проектирования получить принципиальные ограничения на технические параметры СВЧ фильтров, а так же исключитть экспериментальную доработку и настройку.

Ключевые слова: СВЧ, фильтр, инвариант Сестрорецкого, топологический синтез.

The article is devoted to the description of the technique of topological synthesis of microwave filters using the Sestroretsky invariants. The application of the methodology makes it possible at the design stage to obtain fundamental restrictions on the technical parameters of microwave filters, as well as to exclude experimental refinement and tuning.

Keywords: microwave, filter, Sestroretsky invariant, topological synthesis

Введение

Фильтры входят в состав многих СВЧ устройств [1, 2, 3], в том числе на основе микросистемной техники [4, 5]. Существенное улучшение основных параметров СВЧ фильтров (активные потери в полосе пропускания, селективность, габариты) может быть достигнуто при переносе концепции Сестрорецкого с использованием понятия «качество» К сосредоточенных переключательных диодов [6, 7, 8] на элементы «нуль-полюс» [9, 10], из которых могут составляться полосно-пропускающие фильтры [11]. Для получения оптимальных значений затухания в коммутационных устройствах любых типов [12, 13] на фиксированной частоте f_0 в схеме на рис 1 (а), содержащей импеданс диода $Z_{1,2}$ ($Z_1 = r_1 + jx_1$; $Z_2 = r_2 + jx_2$ для двух значений управляющего напряжения и реактивные сопротивления jx_A и jx_B, реализуются два резонансных состояния (рис. 1 (в)). При этом схема рис.1 (а) на частоте f_0 преобразуется к схеме рис. 1 (б) с коммутируемыми сопротивлениями R_1 и R_2, для которой значения затухания в режиме «открыто» L_{z0} и в режиме «закрыто» L_{p0} связаны соотношением [9]:

$$\frac{\sqrt{L_{p0}} - 1}{\sqrt{L_{z0}} - 1} = K;\ \frac{R_1}{R_2} = K;\ \ (R_1 > R_2) \tag{1}$$

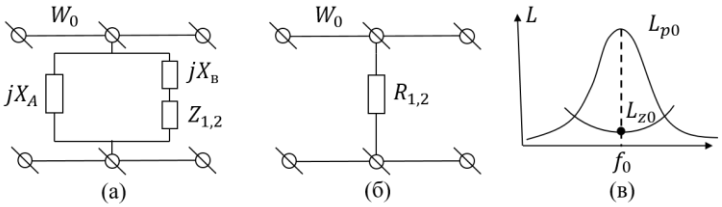


Рисунок 5 – Преобразование на частоте f_0 схемы содержащей импеданс диода и реактивные сопротивления (а) к схеме с коммутируемыми сопротивлениями (б), (в) – резонансные состояния.

Качество К коммутационного диода ($K > 1$) зависит от параметров Z_1 и Z_2 [9]:

$$K = \frac{1}{K_r}\left[1 - \frac{2K_rK_x}{K_r(K_r + K_x) - 1 - \sqrt{[K_r(K_r + K_x) - 1]^2 + 4K_rK_x}}\right] \approx K_x + K_r^{\pm 1}, \tag{2}$$

где $K_r = r_1/r_2$, $K_x = (x_1 - x_2)^2/(r_1 \cdot r_2)$. По аналогии со схемой рис. 1(а) схема «нуль-полюс» (НП, рис. 2(а)) содержит три импеданса ($Z_{L1} = j\omega L_1 + r_1$; $Z_{L2} = j\omega L_2 + r_2$; $Z_C = (j\omega C + g)^{-1}$), и при обеспечении двух резонансных состояний, соответственно на двух частотах f_1 и f_2 (см. рис. 2 (в)), преобразуется к схеме рис. 2 (б), для которой выполняются соотношения (1). При этом величина «качества» НП элемента при заданной собственной добротности реактивных элементов $Q_0 = \omega L/r = \omega C/g$ определяется из соотношения [9]:

$$K \approx \frac{Q_0^2}{4\alpha}\left(\alpha - \frac{1}{\alpha}\right)^2. \tag{3}$$

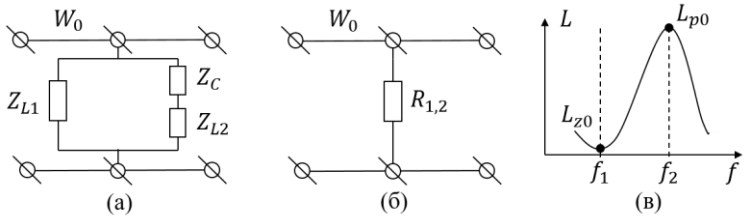


Рисунок 6 – Преобразование на частоте f_0 схемы «нуль-полюс» (а) к схеме с коммутируемыми сопротивлениями (б), (в) – резонансные состояния.

Величины L_{z0} и L_{p0} регулируются параметром M [9]:

$$\sqrt{L_{z0}} - 1 = M\frac{2\alpha}{Q_0\left(\alpha - \frac{1}{\alpha}\right)^2};\ \sqrt{L_{p0}} - 1 = \frac{M}{2}Q_0; M = \frac{W_0}{2\omega_2 L_2}. \quad (4)$$

Если M выбрано, то при $Q_0^{-1} = 0$ (рис. 3) полосы пропускания ($\omega = \omega_1 \pm \delta_z$) и заграждения ($\omega = \omega_2 \pm \delta_p$) для уровней L_z и L_p вычисляются по формулам [9]:

$$\sqrt{L_z - 1} = M\frac{2\delta_z}{\omega_1}\frac{\alpha}{\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^2};\ \sqrt{L_p - 1} = M\frac{\omega_2}{2\delta_p}Q_0. \quad (5)$$

Соотношения (3)-(5) устанавливают предельную селективность одного элемента «нуль-полюс» НП первого порядка с выбранными Q_0 и α. Не имеет значения как будет реализован НП элемент конструктивно и какая схема будет составлена для его описания. Вблизи частот f_1 и f_2 должны отсутствовать или совмещаться соседние нули и полюса. Анализируя характеристику реального НП элемента рис. 3 с помощью соотношения (3)-(5) можно оценить достигнутые в конструкции значения Q_0 и M.

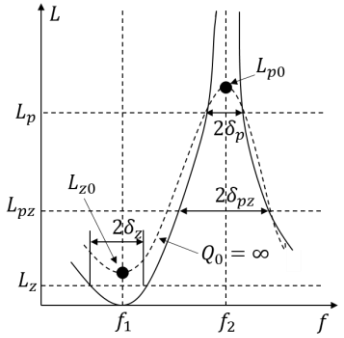


Рисунок 7 – Характеристика реального НП элемента

Если селективность НП элемента первого порядка с заданными Q_0 и α оказывается недостаточной, то эффективное значение Q_0 можно увеличить в схеме лестничного типа из n элементов НП, включенных в линию (рис. 4) или в схеме с одним НП элементом и компенсирующим каналом с сопротивлением R (рис. 5).

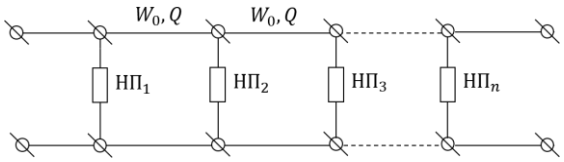


Рисунок 8 Схема лестничного типа из n элементов НП, включенных в линию

Для схемы рис. 4 с $\theta = 90°$ (элемент $(\text{НП})^n$) выполняется соотношение для затухания [9]:

$$L_n = \left[sh(nb) + \frac{1}{\sqrt{1 + sh^2(b)}}ch(nb)\right]^2;\ sh(b) = \sqrt{L_1}, \quad (6)$$

где n – число НП элементов, L_1 – затухание, вносимое одним НП элементом на частотах резонансов f_1 или f_2. Подставляя в (6) значения L_1, равные L_{z0} и L_{p0}, определим два значения L_n: суммарное затухание L_{z0}^{Σ} на частоте f_1 и суммарное затухание L_{p0}^{Σ} на частоте f_2.

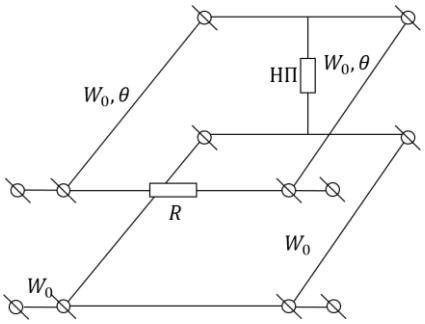


Рисунок 9 – Схема с одним НП элементом и компенсирующим каналом с сопротивлением R

Из (6) можно получить приближенное соотношение [9]:

$$L_{p0}^{\Sigma} \approx \left(2 - \frac{1}{\sqrt{L_{p0}}}\right)^{2(n-1)} \cdot \left(L_{p0}\right)^{n}; L_{z0}^{\Sigma} \approx (L_{z0})^{n} \tag{7}$$

Рис. 5 иллюстрирует зависимость L_{p0}^{Σ} от L_{z0}^{Σ} для параметра $\text{К} = 100$ при различных значениях n. Пунктирная кривая на рис. 5 ($n = \infty$) построена по формуле (8), которая следует из (6) для $n = \infty$.

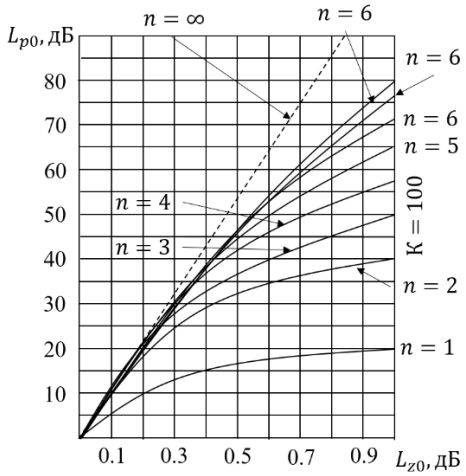


Рисунок 10 – Зависимость L_{p0}^{Σ} от L_{z0}^{Σ} для значения параметра $\text{К} = 100$, при разных значениях n.

$$\left(L_{p0}^{\Sigma}\right)_{opt} \approx e^{\text{К}\left(L_{z0}^{\Sigma}-1\right)}(L_{z0})^{n}. \tag{8}$$

При малых $L_{z0}^{\Sigma} < 0.4$ дБ (см. рис. 5) и n от 3 до 8, значения L_{p0}^{Σ} составляющие от 28 до 40 дБ оказываются близкими к значению $\left(L_{p0}^{\Sigma}\right)_{opt} = 45$ дБ. Один элемент НП дает $L_{p0} = 16$ дБ. Подставляя значения $L_{p0}^{\Sigma} = 40$ дБ $(n = 8)$ и $L_{z0}^{\Sigma} = 0.4$ дБ в (2) определим рост К_{eff} в 20 раз (2000 вместо 100) и рост Q_{0eff} в 4.5 раза. Для элемента $(\text{НП})^{n}$ соотношение эквивалентное (5) для L_p и δ_p имеет вид [9]:

$$L_p \approx \frac{1}{4}\left(M\frac{\omega_2}{\delta_p}\right)^{2n}. \tag{9}$$

Полагая $L_p = L_{p0}$ из (9) при учете (7) получаем [9]:

$$\frac{\delta_{p1}}{\delta_{pn}} \approx \left(1 - \frac{1}{2\sqrt{L_{p0}}}\right)^{1-\frac{1}{n}}. \tag{10}$$

Для $n \gg 1$ и $L_{p0} \gg 1$ из (10) следует, что полоса δ_{pn} вблизи полюса порядка n остаётся примерно равной полосе $\delta_{pn1} \approx \omega_2 Q_0^{-1}$ одиночного НП элемента. При этом полоса пропускания δ_{zn} по сравнению с полосой δ_{pn1} определяемой из (5), расширяется. В схеме рис. 6 (НП R) при $\theta = 90°$ сопротивление R подбирается так, чтобы сигнал, проходящий через параллельный канал с R, на частоте f_2 полностью компенсировал сигнал, проходящий через канал с НП элементом. В этом случае [9]:

$$L_{z0}^{\Sigma} = \left[\frac{1}{\sqrt{L_{z0}}} - \frac{1}{\sqrt{L_{p0}}}\right]^{-2};\ L_{p0}^{\Sigma} = \infty;\ \ R = 2\left(\sqrt{L_{p0}} - 1\right); \tag{11}$$

Минимум L_{z0}^{Σ} равен [9]:

$$(L_{z0}^{\Sigma})_{opt} = \left[\frac{\sqrt{K}+1}{\sqrt{K}-1}\right]^2;\ (L_{z0})_{opt} = \left[1+\frac{1}{\sqrt{K}}\right]^2;\ \left(L_{p0}\right)_{opt} = \left[1+\sqrt{K}\right]^2. \quad (12)$$

Реально компенсацию можно выполнить только с некоторым уровнем L_{p0} и реализовать [9]:

$$L_{p0}^{\Sigma} = \left(L_{p0}^{\Sigma}\right)_{opt} L_k. \quad (13)$$

Для значений $L_k = 30$ дБ, К $= 100$ из (12), (13) определим $L_{z0}^{\Sigma} = 1.75$ дБ и $L_{p0}^{\Sigma} = 57$ дБ, т.е. существенно большие L_{z0}^{Σ} при близких значениях L_{p0}^{Σ}, чем длина элемента $(\text{НП})^n$. При $K \geq 1200$ НП R элемент оказывается более выгодным при $(L_{z0})_{opt} \leq 0.4$ дБ, т.к. дает большие значения L_{p0}^{Σ} (62 вместо 40 дБ при $n = 8$ для $(\text{НП})^n$ элемента). На основе НП элементов выбранного типа формируется требуемый полосовой фильтр, например фильтр с одной полосой пропускания $2\Delta f_z$ и одной полосой заграждения $2\Delta f_p$ (рис. 7).

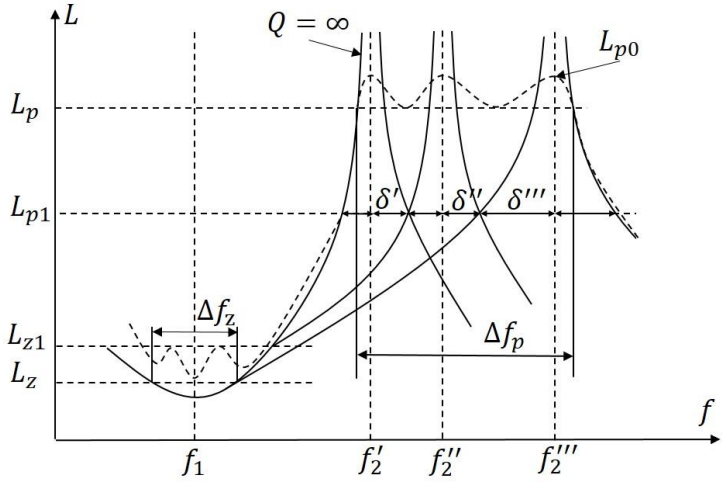


Рисунок 11 – Частотная характеристика фильтра с одной полосой пропускания и одной полосой заграждения

Расчет фильтра из НП элементов первого порядка

Проведем расчет фильтра из НП элементов первого порядка, подключаемых к линии по схеме (рис. 4. Будем полагать, что все НП элементы имеют одинаковую частоту f_1 и разные частоты $f_2', f_2'', \ldots, f_2^n$ (рис. 7). Результирующее затухание двух элементов с разными f_2' и f_2'' на частоте пересечения характеристик ($f_2' + \delta_{pt}' = f_2'' - \delta_{pt}''$) определяется [9]:

$$L_p^{\Sigma} \approx 1 + 4L_{pz}^2 \sin^2\theta \quad (14)$$

где θ – электрическая длина отрезка линии между НП элементами, L_{pz} – уровень пересечения характеристик. Для $\theta = 0°$ два соседних элемента образуют дополнительный «нуль» ($L_p^{\Sigma} = 1$), для $\theta = 90°$ - формируется «антирезонанс» ($L_p^{\Sigma} = 4L_{pn}^2$). Более оптимальный вариант реализуется в режиме «особого состояния» ($\delta_{pz}' \approx \delta_{pz}'' = \delta_{pz}$), когда [9]:

$$\theta = 30°; L_p \approx L_{pz}^2; L_p = L_{p0};\ \delta_{pz} = \delta_p \sqrt[4]{L_p} \quad (15)$$

где L_p – требуемый уровень заграждения фильтра, δ_p – полоса единичного элемента по уровню L_p. Полную полосу заграждения определим из соотношения [9]:

$$\frac{\Delta f_p}{f_2} \approx 2\delta_p[\sqrt[4]{L_{p0}}(n-1)+1] \quad (16)$$

Для $2\Delta\omega_z \approx 2\delta_z$ и $L_{z0}' = L_z'$ будем предполагать равенство [9]:

$$L_z^{\Sigma} \approx 1 + 2n(L_{z0} - 1) \quad (17)$$

Формулы (16)-(17) при учете (3)-(5) позволяют проводить оценочный расчет фильтра для его реализации по методике топологического синтеза [14].

Расчет волноводного фильтра с заданными требованиями

Пусть заданы следующие требования: $f_1 = 11.35 \pm 0.35$ГГц, $f_2 = 14.25 \pm 0.25$ГГц, $L_z^{\Sigma} \leq 0.3$ дБ, $L_p^{\Sigma} \leq 90$ дБ. Полагаем, что фильтр будет компоноваться на основе отрезков волновода сечением 19х4 мм^2. По известным формулам определим собственную добротность резонаторов волноводной конструкции $Q_0 = 2000$. Для $Q_0 = 2000$ и $\alpha = f_2/f_1 = 1.25$ определим К $= 1.6 \cdot 10^5$. Будем компоновать фильтр из двух секций с $L_p^{\Sigma} = 50$ дБи $L_z^{\Sigma} = 0.15$ дБ. Полагая, что для всех НП элементов $L_{p0} = L_p^{\Sigma} = 50$ дБ при К $= 1.6 \cdot 10^5$ из (2) определим $L_{z0} = 1.004$. Из (4) и (5) при учете (15) для $Q_0 = 2000$ определим $\delta_p/\omega^2 = 5 \cdot$

10^{-4}. Из (16) для значений $f_2 = 14.25$ ГГц, $\Delta f_p = 0.5$ ГГц, $L_{p0} = 10^5$, $\delta_p/\omega^2 = 5 \cdot 10^{-4}$ определим $n = 4$. Из (17) для значений $L_{z0} = 1.004$ и $n = 4$ определим $L_z^{\Sigma} = 1.032$ для каждой секции и $L_z^{\Sigma} = 1.064$ (0.256 дБ) для фильтра из двух секций. По формуле (5) при учете (18) для $Q_0 = 2000$ и $L_{z0} = 1.004$ определяем $\frac{\delta_z}{\omega_1} = 0.016$, что меньше заданной полосы $\Delta f_2/f_1 = 0.035$. Можно полагать, что необходимое расширение полосы пропускания для фильтра из двух секций будет реализовано подбором расстояния между секциями фильтра, а также введением допоалнительных реактивных элементов в каждую секцию.

Расчётные и измеренные характеристики фильтра, спроектированного методом топологического синтеза [15, 16] на основе приведенных выше проектных данных совпадают с большой точностью. В пределах полосы пропускания 10.9-11.7 ГГц потери не превышают 0.2 дБ. Затухание в полосе заграждения 14.0-14.5 ГГц не менее 80 дБ. Габариты фильтра: 60x40x40 мм^3. Разработанная теория и новая технология синтеза фильтров позволяет разрабатывать фильтры с существенно лучшими электрическими характеристиками, габаритами и технологичностью, чем при использовании известных подходов. Топологический синтез позволяет также полностью исключить экспериментальную доработку и настройку фильтров.

Литература

1. Конов, К. И. Электродинамическое моделирование частотных характеристик направленного ответвителя диаграммообразующей системы фазированной антенной решётки / К. И. Конов, В. Г. Жилов, А. А. Осипов // Вестник Концерна ПВО Алмаз-Антей. – 2015. – № 3(15). – С. 20-28. – EDN UYYVVT.
2. Моделирование диаграммообразующей системы наземной радиолокационной станции / М. В. Матвеева, А. А. Новожеева, К. И. Конов, А. А. Боловин // Управление инновациями: теория, методология, практика. – 2016. – № 16. – С. 150-154. – EDN VZCBDR.
3. Распределительно-суммирующая система твердотельного передающего устройства S-диапазона частот / А. А. Боловин, К. И. Конов, В. О. Коркинец, А. В. Сучков // Проблемы СВЧ электроники. – 2015. – Т. 2. – С. 148-151. – EDN VILMWZ.
4. Шевнин, Н. А. Особенности выбора материалов для создания СВЧ устройств на основе микросистемной техники для систем радиолокации и связи нового поколения / Н. А. Шевнин, И. О. Дрягин // Гагаринские чтения - 2023 : Сборник тезисов докладов XLIX Международной молодежной научной конференции, Москва, 11–14 апреля 2023 года. – Москва: Издательство "Перо", 2023. – С. 362-363. – EDN TOLVBC.
5. Material Selection Methodology for RF MEMS Switch Design / A. M. Belevtsev, I. K. Epaneshnikova, I. O. Dryagin et al.. // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Tokyo, Japan, 15–19 ноября 2021 года. Vol. 11914. – Tokyo, Japan: The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2021. – P. 119140G. – DOI 10.1117/12.2622555. – EDN AEKLJU.
6. Мальский И. В., Сестрорецкий Б. В. СВЧ устройства на полупроводниковых диодах. — М.: Сов. радио, 1969. — 580 с..
7. Авторское свидетельство № 307448 A1 СССР, МПК H01P 1/185. Дискретный полупроводниковый отражающий фазовращатель : № 1394573/26-9 : заявл. 06.01.1970 : опубл. 21.06.1971 / И. М. Горячев, Б. В. Сестрорецкий. – EDN TQLCKF.
8. Авторское свидетельство № 136420 A1 СССР, МПК H01P 1/10. Волноводный механический переключатель : № 136420 : заявл. 11.09.1959 : опубл. 01.01.1961 / А. А. Романов, Б. В. Сестрорецкий. – EDN ISPXKE.
9. Sestroretsky B. V., Kustov V. Yu., Klimov K.N., Shlepnev Yu. O. Limit theorems and newtechnology of design of microwave filters //Proc. of 27th Conference on Antenna Theory andTechnology (ATT'94), Moscow, Russia, 23-25August, 1994. P. 441-446.
10. Авторское свидетельство № 173849 A1 СССР, МПК H01L 29/06. Полупроводниковый переключатель элемент СВЧ : № 879906/26-25 : заявл. 04.02.1964 : опубл. 06.08.1965 / Б. В. Сестрорецкий, Ю. А. Синьков, Л. М. Якубень. – EDN OWNNTB.
11. Авторское свидетельство № 1083258 A1 СССР, МПК H01P 1/211. Волноводный фильтр нижних частот : № 3534791 : заявл. 07.01.1983 : опубл. 30.03.1984 / Б. В. Сестрорецкий, Е. В. Сомов ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я А-7866. – EDN QIZKPY..
12. Авторское свидетельство № 455406 A1 СССР, МПК H01P 1/10. Переключатель свч : № 1876765 : заявл. 10.01.1973 : опубл. 30.12.1974 / И. М. Горячев, Б. В. Сестрорецкий, Л. М. Якубень ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я А-7866. – EDN KTTAZP.
13. Авторское свидетельство № 169601 A1 СССР, МПК H01P 1/162. Излучающий фильтр СВЧ : № 903023/26-9 : заявл. 01.06.1964 : опубл. 17.03.1965 / Б. В. Сестрорецкий, В. В. Шишкарева ; заявитель Государственный комитет по радиоэлектронике. – EDN MWQXZQ.
14. The genetic concept of topological synthesis of waveguide polarizator with elliptical factor 0.95 for antennas of satellite communication of a C-band 3.7/6.5 GHz / B. V. Sestroretsky, S. A. Ivanov, M. A. Drize, K. N. Klimov // 2000 10th International Crimean Microwave Conference "Microwave and Telecommunication

Technology", CriMico 2000, Crimea, 11–15 сентября 2000 года. – Crimea: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2000. – P. 388-390. – DOI 10.1109/CRMICO.2000.1256154. – EDN WNIOQV

15. Климов К.Н., и др. Использование программных средств при проектиро-вании диплексера стаций “Индия”. – М.: ОКБ МЭИ, «Радио-технические тетради», №30, 2004 г. С. 15

16. Сестрорецкий Б.В. и др. Диплексер стаций “Индия”. – М.: ОКБ МЭИ, «Радиотехнические тетради», №30, 2004 г. С. 11.

МОЩНЫЕ СВЧ-ДИПЛЕКСЕРЫ НА ВСТРЕЧНО-СТЕРЖНЕВЫХ ФИЛЬТРАХ

Сучков А.В.
ПАО «НПО «Алмаз» (ТОП «ЛЭМЗ»)
avsu@bk.ru

Предложен СВЧ-диплексер с малыми вносимыми потерями, обеспечивающий электрическую прочность при высокой входной мощности и сочетающий в себе функции нескольких типовых элементов фидерного тракта вторичного радиолокатора (ВРЛ): переключателя прием/передача, фильтра гармоник, приемного полосового фильтра. Рассмотрены два варианта реализации диплексера с вносимыми потерями в полосах пропускания каналов в пределах 0.7 дБ, уровнем подавления гармоник более 40 дБ, изоляцией каналов и затуханием при отстройке на ±60 МГц от центральных частот полос пропускания не менее 50 дБ, работающие в диапазонах частот RBS и $VII_д$ ВРЛ при входной импульсной мощности до 12 кВт. Приведены основные размеры конструкции диплексеров, результаты численного моделирования и данные экспериментальной проверки характеристик.

Ключевые слова: диплексеры, частотно-разделительные устройства, фильтры на встречных стержнях, полосовые фильтры СВЧ, подавление гармоник.

High-power microwave diplexers based on interdigital filters. Suchkov A.V. PJSC “ALMAZ R&P Corp.” Lianozovo Electromechanical Plant Division.

The article presents the microwave diplexer with low insertion losses, providing electrical strength at high input power and combining the functions of several typical elements of secondary surveillance radar (SSR) feeder sections – receive/transmit switcher, harmonic filter and receiving band-pass filter. Two cases of a diplexer implementation operating in RBS and VII_b frequency ranges are considered. The insertion losses in the bandwidths of receiving and transmitting diplexer channels are less than 0.7 dB. The diplexer can withstand input peak power level of 12 kW, at the same time harmonics suppression level exceeds 40 dB. Isolation between channels in the operating frequency band, as well as attenuation when tuning to ±60 MHz from the passbands central frequencies, are at least 50 dB. The diplexer design main dimensions, numerical modeling results and experimental characteristics are given.

Keywords: diplexers, frequency-separating devices, interdigital type filters, microwave band-pass filters, harmonic suppression.

Введение

Развитие систем вторичной радиолокации, встраиваемых в многофункциональные мобильные РЛС, в настоящее время идет по пути увеличения мощности излучения запросных сигналов, что обеспечивается твердотельным исполнением приемо-передатчиков на современной элементной базе [1]. Такой подход позволяет улучшить массогабаритные характеристики встраиваемой антенной системы (за счет возможности уменьшения ее коэффициента усиления и, соответственно, площади раскрыва) и сохранить при этом дальность действия вторичного радиолокатора (ВРЛ). Для встраивания ВРЛ требуется повышение плотности компоновки приемопередающей аппаратуры, что приводит в результате к увеличению вносимых потерь в фидерных трактах основного и компенсационного каналов. Это обусловлено либо необходимостью миниатюризации устройств, образующих тракт (циркуляторов, фильтров, направленных ответвителей, коаксиальных фидеров), либо взаимодействием магнитных систем ферритовых циркуляторов, которые выполняют роль переключателей прием/передача, и размещены, как правило, в ограниченном объеме аппаратного шкафа. Поскольку рабочие частоты сигналов запроса и ответа, формируемых при работе ВРЛ, разнесены, решение данной задачи возможно путем замены циркуляторов на диплексеры, также известные в литературе как двухканальные частотно-разделительные устройства.

Среди возможных вариантов реализации диплексеров наиболее распространенными являются два полосовых фильтра с общим входом, обеспечивающие низкие вносимые потери и достаточно высокую изоляцию каналов. В докладах [2, 3] представлены малогабаритные диплексеры на диэлектрических резонаторах, которые выполнены в виде двух фильтров, соединенных через тройник. Диплексеры с

повышенной электрической прочностью на стержневых фильтрах с согласующими элементами на входах и частичным заполнением диэлектриком с малыми потерями, рассмотрены в публикациях [4, 5]. Однако допустимый уровень входной импульсной мощности в данных устройствах составляет 0,1-1,8 кВт, что исключает возможность их применения в составе встраиваемых ВРЛ. Повышение допустимой входной мощности возможно, например, при построении диплексера на базе волноводных фильтров с учетом новых тенденций в методах и технологиях, применяемых для проектирования [6]. Оригинальные варианты исполнения волноводного диплексера и режекторного фильтра большой мощности предложены в работах [7, 8]. Тем не менее, реализация волноводной конструкции в рабочем диапазоне частот систем вторичной радиолокации приведет к существенному увеличению массы и габаритов диплексера.

Целью данной работы является разработка СВЧ-диплексера с малыми вносимыми потерями, обеспечивающего электрическую прочность при высокой входной мощности и сочетающего в себе функции нескольких типовых элементов фидерного тракта ВРЛ – переключателя прием/передача, фильтра гармоник, приемного полосового фильтра. В соответствии с поставленной целью в работе решены задачи проектирования и практической реализации диплексера в диапазонах частот RBS и $\text{VII}_\text{д}$ [1, 9] систем вторичной радиолокации.

Постановка задачи

К проектируемым диплексерам предъявляются следующие требования, выработанные по результатам анализа технических характеристик штатных ферритовых циркуляторов, фильтров гармоник и приемных полосовых фильтров, применяемых в фидерных трактах ВРЛ, с учетом компоновки встраиваемой аппаратуры:

– вносимые потери в полосах пропускания каналов: не более 1 дБ;
– максимальная входная импульсная мощность: 12 кВт;
– коэффициент стоячей волны по напряжению входа/выходов: не более 1.5;
– уровень подавления второй/третьей гармоники: не менее 30 дБ / 20 дБ;
– изоляция каналов в рабочей полосе частот: не менее 50 дБ;
– затухание при отстройке на ±60 МГц от центральной частоты полосы пропускания приемного канала: не менее 50 дБ;
– частоты сигналов запроса/ответа диапазона RBS: 1030±5 МГц / 1090±5 МГц;
– частоты сигналов запроса/ответа диапазона $\text{VII}_\text{д}$: F4±5 МГц / F2±5 МГц, F3±5 МГц;
– тип входа/выходов: стандартный коаксиальный разъем, 50 Ом.

Синтез полосовых фильтров

Проектирование диплексеров разделено на несколько этапов. На первом этапе выполнен синтез фильтров приемного и передающего каналов. Исходя из компромисса между допустимыми размерами конструкции и требуемыми характеристиками, наиболее приемлемым вариантом представляется использование в диплексерах полосовых фильтров на встречных стержнях. Основы синтеза данных фильтров сформулированы в [10], где рассмотрены два метода синтеза – метод неопределенных коэффициентов и классический метод. Конструктивный расчет фильтров предполагает использование известных графиков зависимости геометрических размеров стержней от величин погонных емкостей, определяемых на этапе синтеза. Для узкополосных фильтров величины проводимостей оконечных линий в большинстве случаев оказываются физически нереализуемыми. Улучшение конструктивной реализуемости возможно с помощью перехода к новой структуре, которая содержит две дополнительных линии, выполняющих роль трансформаторов. Синтез фильтров производился в соответствии с предложенным в [10] алгоритмом. В процессе синтеза рассчитывается необходимое количество резонаторов и выбираются основные размеры конструкции, определяющие характеристики фильтров.

Количество резонансных стержней определяется исходя из следующего неравенства:

$$n \geq \frac{\operatorname{arch}\left(\sqrt{\frac{10^{(Lr/10)}-1}{10^{(Lp/10)}-1}}\right)}{\operatorname{arch}\left(\frac{\cos\theta r}{\cos\theta p}\right)} - \frac{\operatorname{arch}\left(\frac{\operatorname{tg}\theta p}{\operatorname{tg}\theta r}\right)}{\operatorname{arch}\left(\frac{\cos\theta r}{\cos\theta p}\right)} + 1, \qquad (1)$$

где $\theta p = \pi/\left(1+ fp_2/fp_1\right)$, $\theta r = \pi/\left(1+ fr_2/fr_1\right)$ – электрические длины стержней в полосах пропускания и заграждения, fp_1, fp_2 – нижняя и верхняя граничные частоты полосы пропускания, соответственно, fr_1, fr_2 – нижняя и верхняя граничные частоты полосы заграждения, Lp – неравномерность затухания в полосе пропускания в дБ, Lr – уровень заграждения в дБ. По заданным требованиям определяем, что для фильтров диапазона RBS $n = 4$, для фильтров $\text{VII}_\text{д}$ $n = 5$.

Функция рабочего затухания фильтра может быть представлена в виде:

$$L(f)=10\lg\left|1+\left(10^{(Lp/10)}-1\right)\mathrm{ch}^2\left[\mathrm{arch}\left(\frac{\cos\theta(f)}{\cos\theta p}\right)(n-1)+\mathrm{arch}\left(\frac{\mathrm{tg}\,\theta p}{\mathrm{tg}\,\theta(f)}\right)\right]\right|, \quad (2)$$

где $\theta(f)=2\pi l/\lambda(f)$, $\lambda(f)$ – длина волны на частоте f, $l\approx\lambda_0/4$ – длина стержней, λ_0 – длина волны на центральной частоте полосы пропускания.

Далее по системе таблиц, приведенных в [10], для случая $m=1$ и найденных значений n, Lp, fp_2/fp_1 выбираются независимые параметры α_1, α_2, α_3. Поскольку уровень проводимости оконечных стержней высок, то необходимо применить согласующие стержни, которые выполняют роль трансформаторов волнового сопротивления. При этом пересчет значений независимых параметров для структуры с согласующими оконечными стержнями производится согласно следующим соотношениям:

$$A_0=1,\ A_1=1+\alpha_1,\ A_2=\alpha_2\left(1+\frac{1}{\alpha_1}\right),\ A_3=\alpha_3 \quad (3)$$

Частичные погонные емкости связи, однозначно определяющие зазоры $S_{i,i+1}$ между соседними стержнями при выбранных размерах стержней (t) и корпуса (b) согласно рис. 1:

$$C_{i,i+1}=\frac{120\pi}{\sqrt{A_{i+1}\omega_i\omega_{i+1}}}, \quad (4)$$

где ω_i – волновые сопротивления стержней (выбираются из условий физической реализуемости стержней с учетом заданных требований), $i\in 0...2$.

Частичные погонные емкости стержней на заземленный экран:

$$C_{00}=\frac{120\pi}{\omega_0}-C_{01},\ C_{10}=\frac{120\pi}{\omega_1}-C_{01}-C_{12},\ C_{20}=\frac{120\pi}{\omega_2}-C_{12}-C_{23},\ C_{30}=\frac{120\pi}{\omega_3}-C_{23}-C_{23}$$

Соответственно, ширины стержней фильтров:

$$W_0=(b-t)\left(C_{00}-2C'_f-2C'_{fe01}\right)/4,\ W_1=(b-t)\left(C_{10}-2C'_{fe01}-2C'_{fe12}\right)/4,\ W_2=(b-t)\left(C_{20}-2C'_{fe12}-2C'_{fe23}\right)/4$$

Для фильтров пятого порядка (диапазон VII$_д$) также рассчитываются значения: $C_{30}=\frac{120\pi}{\omega_3}-2C_{23}$, $W_3=(b-t)\left(C_{30}-4C'_{fe23}\right)/4$. Краевые емкости $C'_{fe,i,i+1}$ и C'_f находим по соответствующим графикам рис. 1 с учетом нормированных значений $S_{i,i+1}/b$ и t/b.

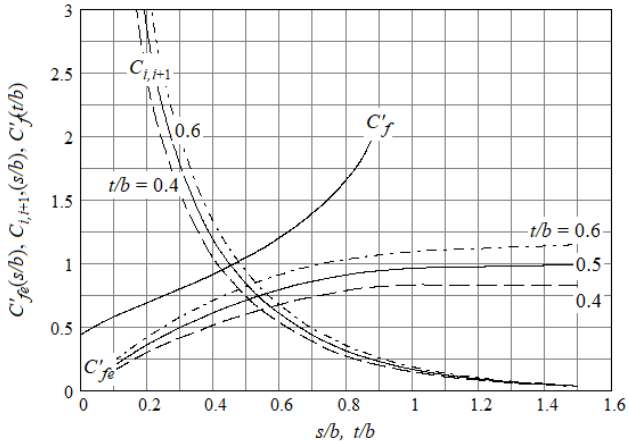


Рисунок 1 – Емкость связи $C_{i,i+1}$ и краевые емкости C'_{fe}, C'_f стержней прямоугольной формы.

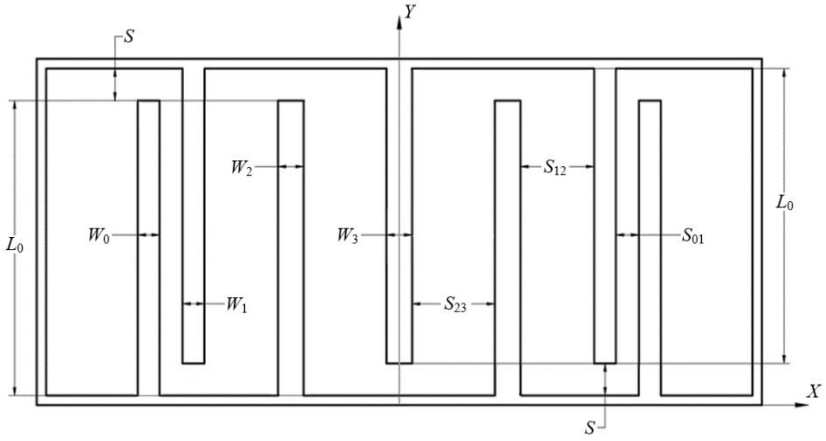
Анализ и оптимизация компьютерных моделей

Анализ и оптимизация полосовых фильтров проведены на втором этапе с помощью специализированной программы трехмерного моделирования электромагнитного поля методом конечных элементов в частотной области [11]. В процессе создания компьютерной модели фильтра, задаются электрофизические параметры применяемых материалов, входной и выходные порты, определяются граничные условия. Также задается частотный диапазон для анализа и определяются условия сходимости решения. Основные размеры конструкции, выбранные на этапе синтеза, показаны на рис. 2а. Конфигурация компьютерной модели фильтра диапазона VII$_д$ показана на рис. 2б. На всех плоскостях

модели фильтра задаются граничные условия, соответствующие электропроводности серебра с шероховатостью поверхности 0,8 мкм. Волновые порты фильтра выполнены в виде коаксиальной линии 14,1×4,2 мм с фторопластовым изолятором.

На заключительном этапе выполнены моделирование и оптимизация двух исполнений диплексера. Фильтры диплексера связаны с общим стержнем, соединенным с входным разъемом, оконечные стержни фильтров соединены с выходными разъемами. Каждый из резонаторов имеет возможность подстройки с помощью регулировочного винта. Для подбора оптимальных размеров конструкции использовался генетический алгоритм глобальной оптимизации [11]. В пространство оптимизации входят следующие параметры: расстояния между резонаторами $S_{i,i+1}$, длины L_0 и ширины резонаторов W_j ($i \in 0...2$, $j \in 0...2$ для фильтров диапазона RBS, $j \in 0...3$ для фильтров VII$_д$), расстояние между резонаторами и корпусом S (см. рис. 1). В качестве критерия построения целевой функции (оптимизационного функционала) использовалась разность между заданными и моделируемыми значениями амплитудно-частотной характеристики, определяемой на элементах параметрического пространства.

а)



б)

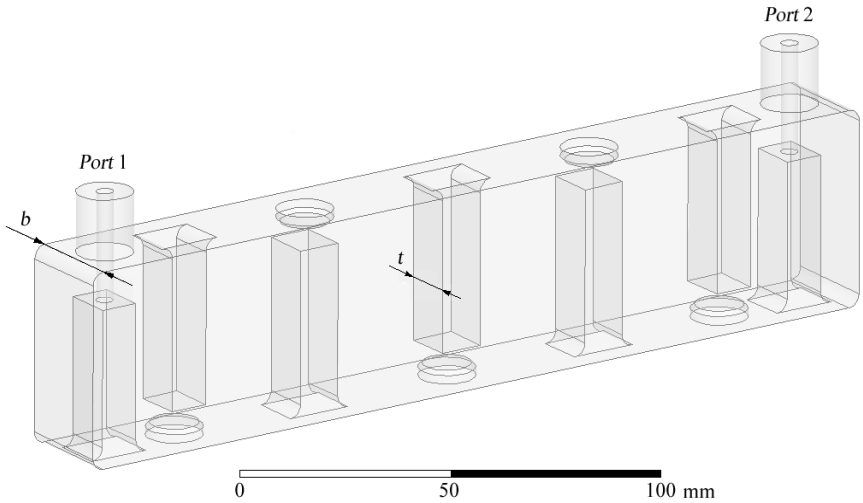


Рисунок 2 – Полосовой фильтр: а) основные размеры конструкции фильтра пятого порядка; б) компьютерная модель фильтра передающего канала диплексера диапазона VII$_д$.

В табл. 1 приведены скорректированные размеры конструкции фильтров передающего – *TX* и приемного – *RX* каналов диплексеров, полученные по результатам оптимизации целевой функции (единицы измерения F_2, F_3, F_4 – ГГц).

Компьютерные модели диплексеров показаны на рис. 3 и 4 (общий вход – *ANT*, подключается к антенной системе), расчетные амплитудно-частотные характеристики – на рис. 5 и 6. Расчетные уровни подавления второй и третьей гармоник для диплексера диапазона RBS составляют не менее 93 дБ и 45 дБ, соответственно, для VII$_д$ – не менее 114 дБ и 82 дБ. Анализ напряженности моделируемого электрического поля показал, что электрический пробой конструкции происходит при уровне входной импульсной мощности около 12,7 кВт.

Таблица 1 – Размеры оптимизированной конструкции фильтров диплексеров

Размер	Значение, мм			
	Фильтр RBS		Фильтр $VII_д$	
	TX	*RX*	*TX*	*RX*
L_0	64,8	60,7	~75/F_4	~150/(F_2+F_3)
W_0	9,8	9,8	9,7	9,7
W_1	10	10	9,8	9,8
W_2	10,9	10,9	10,8	10,8
W_3	–	–	10,9	10,9
S_{01}	11,4	11,4	10,6	10,6
S_{12}	29,5	29,5	27,6	27,6
S_{23}	32,3	32,3	30,6	30,6
S	8	8	~12/F_4	~23/(F_2+F_3)
t	12,5	12,5	12,5	12,5
b	25	25	25	25

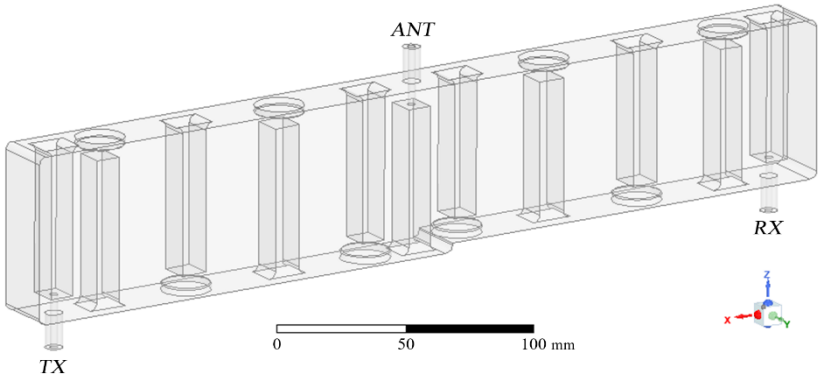


Рисунок 3 – Компьютерная модель диплексера диапазона RBS.

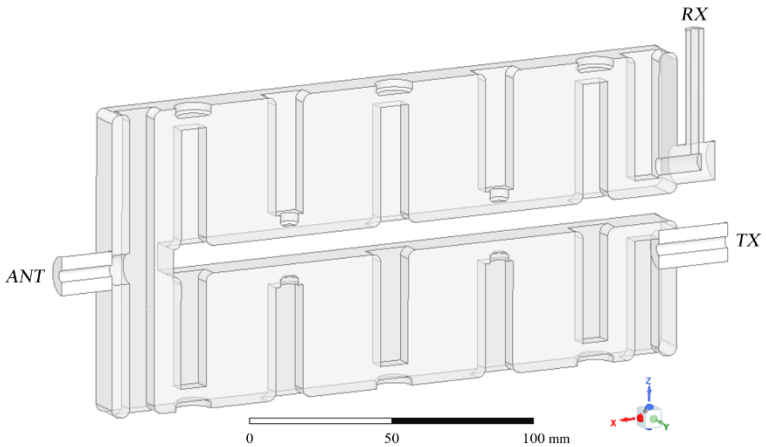


Рисунок 4 – Компьютерная модель диплексера диапазона $VII_д$ (в разрезе плоскостью симметрии).

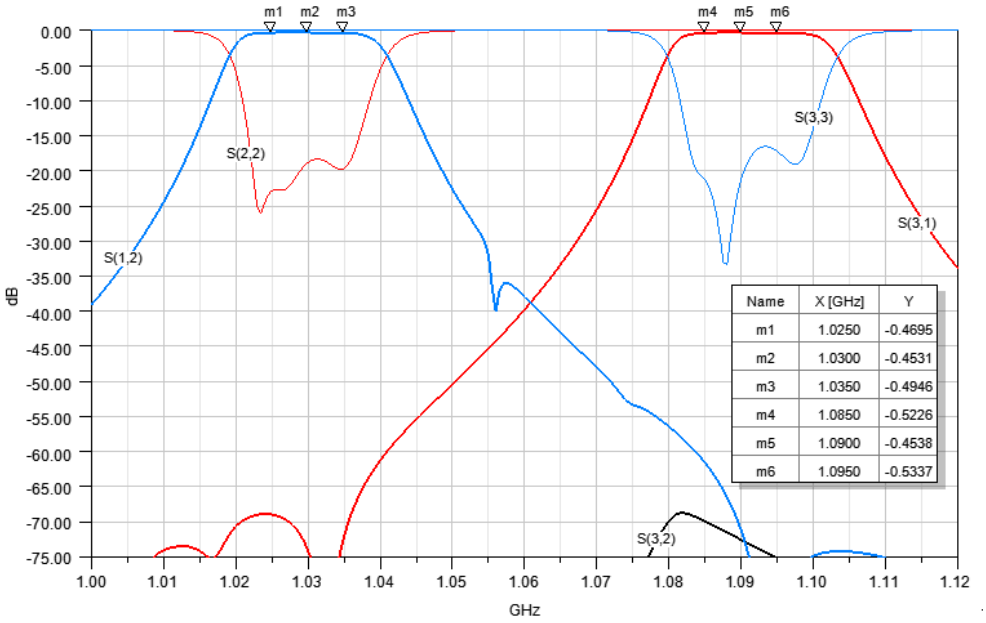


Рисунок 5 – Расчетные амплитудно-частотные характеристики диплексера диапазона RBS.
Для приведенных S-параметров индекс 1 соответствует входу диплексера ANT, 2 – TX, 3 – RX.

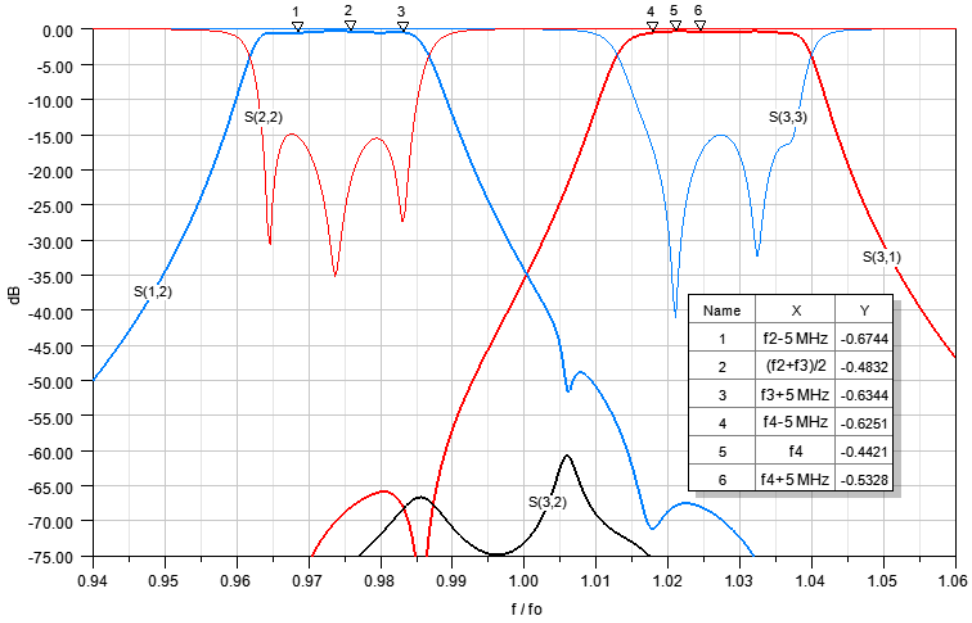
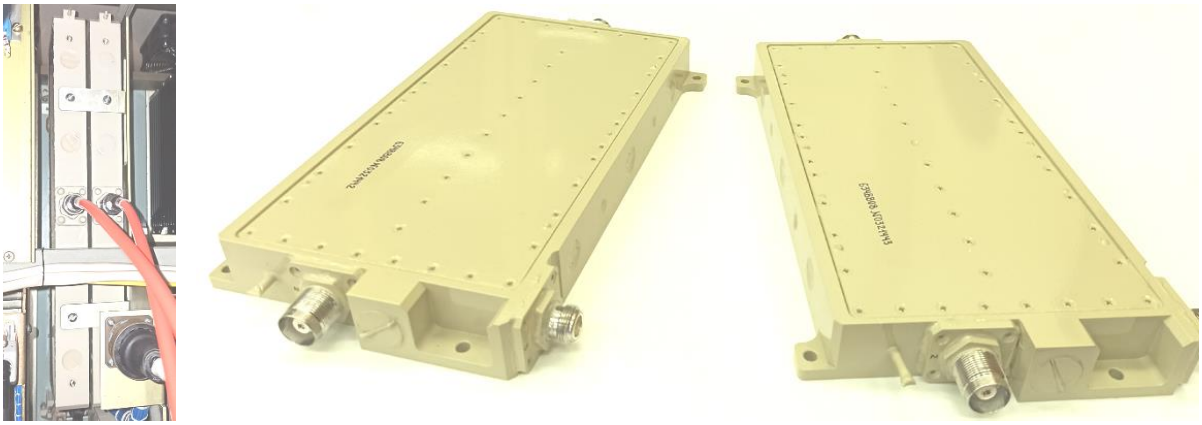


Рисунок 6 – Расчетные амплитудно-частотные характеристики диплексера диапазона $VII_д$.
Для приведенных S-параметров индекс 1 соответствует входу диплексера ANT, 2 – RX, 3 – TX.

Описание конструкции

Конструкция диплексера представляет собой два встречно-стержневых фильтра с общим входом, которые выполнены в едином корпусе, имеющем отверстия для установки разъемов, регулировочных винтов и их фиксаторов. По периметру корпуса организован контактный бурт, обеспечивающий надежный электрический контакт при винтовом соединении с внешними экранирующими крышками. При изготовлении корпуса используется технология фрезерной обработки металла на станках с числовым программным управлением [12]. Корпус, крышки и регулировочные винты изготавливаются на базе алюминиевых сплавов и покрываются серебром. Снижение шероховатости рабочих поверхностей обеспечивается крацеванием покрытия. Коаксиальные разъемы выполнены в виде стандартных герметичных розеток с волновым сопротивлением 50 Ом. После проведения настройки характеристик устройство герметизируется. Для обеспечения необходимого запаса по электрической прочности [13] внутренний объем конструкции заполняется элегазом (гексафторид серы SF_6). Предложенная конструкция диплексера защищена патентом [14]. Фотографии изготовленных опытных образцов диплексеров показаны на рис. 7.



а) б)

Рисунок 7 – Изготовленные опытные образцы: а) диплексеры диапазона RBS, установленные в фидерный тракт приемо-передатчика ВРЛ; б) диплексер диапазона $VII_д$.

Экспериментальные результаты

На рис. 8 и 9 представлены амплитудно-частотные характеристики изготовленных образцов, измеренные на векторном анализаторе цепей PNA-L N5230C. Измеренные уровни подавления второй и третьей гармоник для фильтров диапазона RBS составляют не менее 89 дБ и 44 дБ, соответственно, для фильтров $VII_д$ – не менее 101 дБ и 73 дБ. Проверка диплексеров на стенде высокого уровня мощности (ВУМ) показала, что электрическая прочность конструкции сохраняется при заданной максимальной входной импульсной мощности 12 кВт. Температура конструкции устройств в установившемся тепловом режиме при рабочей скважности сигналов запроса, формируемых стендом ВУМ, не превышает 43°С.

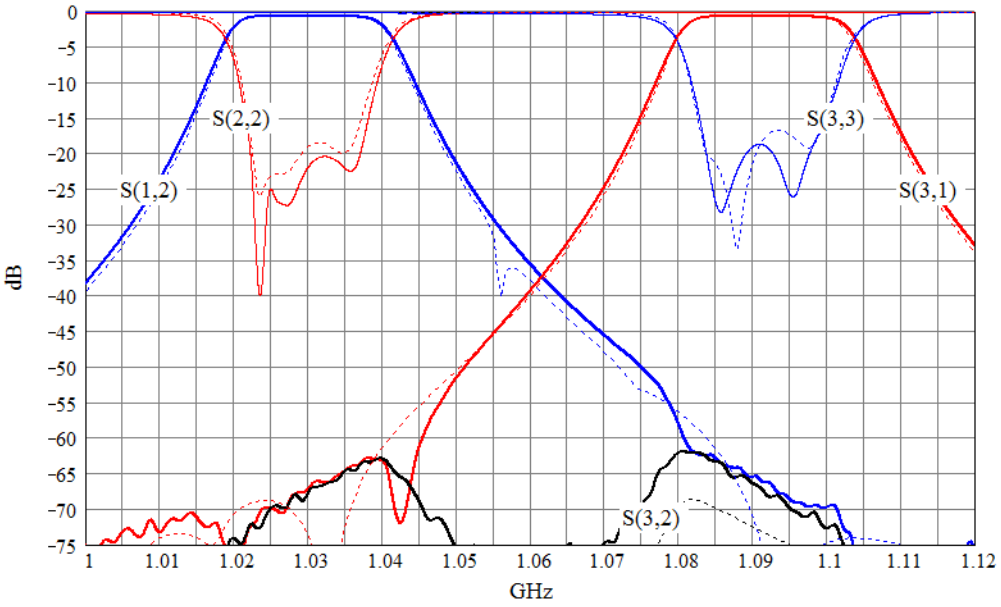


Рисунок 8 – Измеренные (сплошные линии) и расчетные (штриховые линии) амплитудно-частотные характеристики диплексера диапазона RBS. Для приведенных S-параметров индекс 1 соответствует входу диплексера ANT, 2 – TX, 3 – RX.

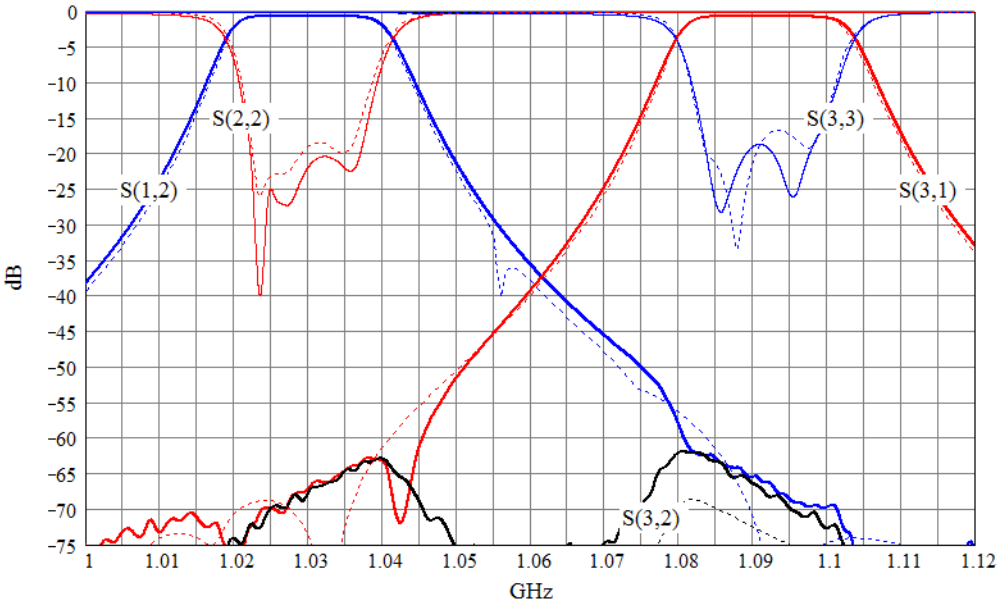


Рисунок 9 – Измеренные (сплошные линии) и расчетные (штриховые линии) амплитудно-частотные характеристики диплексера диапазона $VII_д$. Для приведенных S-параметров индекс 1 соответствует входу диплексера ANT, 2 – RX, 3 – TX.

Реализованные характеристики в целом хорошо согласуются с результатами численного моделирования, что подтверждает корректность проведенных расчетов и заложенных технических решений. Сопоставление полученных результатов с характеристиками диплексера высокой мощности на объемных резонаторах [15] компании «Mesa Microwave», разработанного для зарубежных систем вторичной радиолокации, показывает, что предложенный вариант диплексера RBS диапазона имеет меньшие вносимые потери: 0,7 дБ против 1,5 дБ и обеспечивает электрическую прочность при большей входной мощности: 12 кВт против 5 кВт. По сравнению с общепринятыми вариантами построения фидерных трактов ВРЛ с применением циркуляторов, фильтров гармоник и приемных фильтров, соединенных с помощью кабельных сборок [1, 9], предложенные решения позволяют снизить потери фидерных трактов основного и компенсационного каналов, обеспечить их электрическую прочность при большей входной мощности, упростить конструкцию и повысить плотность компоновки встраиваемой аппаратуры.

Заключение

В работе решены задачи проектирования и практической реализации двух вариантов СВЧ-диплексеров в диапазонах частот RBS и $VII_д$ для систем вторичной радиолокации. Каждый из предложенных вариантов выполнен на основе двух встречно-стержневых фильтров, которые связаны с общим стержнем, соединенным с входным разъемом. Вносимые потери в полосах пропускания приемного и передающего каналов диплексеров не превышают 0,7 дБ. Электрическая прочность устройств сохраняется при входной импульсной мощности до 12 кВт. Уровень подавления гармоник превышает 40 дБ. Изоляция каналов в рабочей полосе частот и затухание при отстройке на ±60 МГц от центральных частот полос пропускания составляют не менее 50 дБ. Использование разработанных диплексеров в фидерных трактах ВРЛ обеспечивает возможность замены нескольких типовых элементов: переключателя прием/передача, фильтра гармоник, приемного полосового фильтра и применяемых для их соединения кабельных сборок. Предложенные решения также могут быть реализованы как в более высоких, так и в более низких диапазонах частот и применяться в системах активной радиолокации с активным ответом, в которых сигналы запроса и ответа формируются на разнесенных частотах.

Литература

1. https://lemz.ru/wp-content/uploads/2019/11/ВРЛ-РУС.pdf
2. Pelliccia L., Cacciamani F., Cazzorla A. et al. Compact On-board L-band Dielectric-loaded Diplexer for High-power Applications // 2019 49th European Microwave Conference. – 2019. – pp. 61-64.
3. Vallerotonda P., Cacciamani F., Pelliccia L. et al. Tx/Rx Diplexer for High-power Space Applications Based on TM010 Mode Dielectric Resonators // 2021 IEEE MTT-S International Microwave Filter Workshop. – 2021. – pp. 11-13.

4. Shamsaifar K., Rodriguez T., Haas J. High-Power Combline Diplexer for Space // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – May 2013. – V. 61. – № 5. – pp. 1850-1860.
5. Патент США №5151670. МПК H01P 1/205; H01P 5/12. Duplexing Filter / Blair W.D., Harbor L., Bentivenga S. Заявл. 10.04.1991. № 686325. Опубл. 29.09.1992.
6. Snyder R.V., Macchiarella G., Bastioli S., Tomassoni C. Emerging Trends in Techniques and Technology as Applied to Filter Design // IEEE Journal of Microwaves. – Jan. 2021. – V. 1. – № 1. – pp. 317-344.
7. Belostotskay K.K., Klimov C.N., Sestroretskiy B.V., Ruchenkov V.A., Kamishev T.V. Waveguide Diplexer for Feed Reflector-type Antenna for Deep-space Communication // 2005 5th International Conference on Antenna Theory and Techniques. – 2005. – pp. 457-459.
8. Патент РФ № 2399997. МПК H01P 1/20 (2006.01). Режекторный волноводный многозвенный СВЧ-фильтр / Рученков В.А., Сестрорецкий Б.В., Белостоцкая К.К., Бакитько Р.В. Заявл. 29.05.2009. № 2009120588. Опубл. 20.09.2010. Бюл. № 26.
9. https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/13383/2/Ermak_2017.pdf
10. Леонченко В.П., Фельдштейн А.Л., Шепелянский Л.А. Расчет полосковых фильтров на встречных стержнях. Справочник. – М.: Связь, 1975. – 312 с.
11. Гринев А.Ю. Численные методы решения прикладных задач электродинамики. – М.: Радиотехника, 2012. – 336 с.
12. Фельдштейн Е.Э. Обработка деталей на станках с числовым программным управлением. – Минск: Новое знание, 2008. – 299 с.
13. Кухаркин Е.С., Сестрорецкий Б.В. Электрическая прочность волноводных устройств. – М.: Высш. Школа, 1963. – 452 с.
14. Патент РФ № 2775338. МПК H01P 1/20 (2006.01). Частотно-разделительное устройство / Сучков А.В. Заявл. 03.09.2021. № 2021126027. Опубл. 29.06.2022. Бюл. № 19.
15. https://mesamicrowave.com/product/

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОМПРЕССИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ GSM

Хабай А., Абдраимова Д.Б.*, Әбдіжәлел Қ.Н.
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (КазНИТУ), Алматы, Казахстан
e-mail: anar_kh@mail.ru, diana.abdraimova@list.ru, kuanysh.a46@gmail.com

Аннотация: Система глобальной системы мобильной связи (GSM) является одной из самых широко распространенных технологий беспроводной связи в мире. GSM обеспечивает передачу голосовой и данных между мобильными устройствами с использованием цифровой модуляции. Одним из важных аспектов GSM является эффективное использование пропускной способности сети. В этой статье мы рассмотрим применение метода двухуровневого компрессионного зондирования в системе беспроводной связи GSM, который способствует оптимизации использования пропускной способности и повышению эффективности сети.

В данной работе рассматриваются обзор архитектуры GSM, объяснение концепции компрессионного зондирования и его применения в сжатии данных, Описание способов применения двухуровневого компрессионного зондирования в системе GSM для оптимизации использования пропускной способности.

Так же приведены примеры результатов исследований, проведенных для оценки эффективности и эффективности метода двухуровневого компрессионного зондирования в системе GSM. Представлены практические примеры и случаи использования метода двухуровневого компрессионного зондирования в реальных сетях GSM.

В результате подведены итоги и обобщение основных результатов применения метода двухуровневого компрессионного зондирования в системе GSM. Рассмотрены перспективы будущего развития и улучшения данного метода в контексте беспроводной связи.

Ключевые слова: Метод двухуровнего компресионного зондирования, система GSM, сигнал, беспроводная связь, пропускная способность.

Application of compression sounding method in GSM wireless communication system. A.Khabay, D.B.Abdraimova*, K.N.Abdizhalel, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev (KazNRTU), Almaty, Kazakhstan

Abstract: The Global System for Mobile Communications (GSM) system is one of the most widespread wireless communication technologies in the world. GSM provides voice and data transmission between mobile

devices using digital modulation. One of the important aspects of GSM is the efficient use of network bandwidth. In this article, we will consider the application of the bi-level compression sounding method in the GSM wireless communication system, which helps to optimize the use of bandwidth and improve the efficiency of the network.

This paper discusses an overview of the GSM architecture, an explanation of the concept of compression sensing and its application in data compression, a description of how to apply two-level compression sensing in a GSM system to optimize bandwidth utilization.

Examples of the results of studies conducted to evaluate the effectiveness and efficiency of the method of two-level compression probing in the GSM system are also given. Practical examples and cases of using the method of two-level compression probing in real GSM networks are presented.

As a result, the results and generalization of the main results of the application of the two-level compression sounding method in the GSM system are summed up. The prospects for future development and improvement of this method in the context of wireless communication are considered.

Keywords: Two-level compression sounding method, GSM system, signal, wireless communication, throughput.

Введение

GSM (произносится как gee-ess-em) — самый популярный стандарт мобильных телефонов, который используется во всем мире, поэтому вы, вероятно, слышали его в контексте телефонов GSM и сетей GSM, особенно по сравнению с CDMA. Первоначально GSM расшифровывался как Groupe Spécial Mobile, но теперь расшифровывается как Global System for Mobile Communications. По данным Ассоциации GSM (GSMA), представляющей интересы мировой индустрии мобильной связи, 80% мировых беспроводных коммуникаций используют технологию GSM. [1]

Одним из основных ограничений GSM является многолучевое распространение. Это происходит потому, что радиоволны отражаются от стен и других объектов, создавая множество каналов, по которым может проходить сигнал. Каждый из этих каналов имеет разные задержки, фазы и амплитуды, что приводит к интерференции и искажению сигнала. [2]

Кроме того, сигнал GSM может поглощаться и ослабляться при передаче через стены, здания и другие препятствия. Это связано с тем, что многие материалы обладают высокой диэлектрической проницаемостью и могут поглощать энергию радиоволн. [2]

Для решения этих проблем были разработаны различные методы компрессии данных. Один из таких методов – двухуровневое компрессионное зондирование – позволяет значительно увеличить скорость передачи данных и расширить дальность действия сигнала в системах беспроводной связи. В этой статье мы рассмотрим исследования, проведенные по этому методу. Мы проанализируем результаты исследования, составим концепции о том, чем метод отличается от других методов, и как улучшить качество использования метода в будущем.

Например, в работе [3] представлен метод анализа беспроводного канала для оценки параметров сигнала при его передаче через препятствия. Этот сигнал модулируется на двух разных частотах, которые затем объединяются для обеспечения возможности измерения параметров на каждой из частот.

Разработанный авторами в работе [4], [6] можно описывать три отдельные подзадачи обнаружения сжатия, связанные с беспроводной связью: разреженная оценка, идентификация поддержки и разреженное обнаружение.

Для исследовния авторы начали с базовой модели системы, в которой интересующий сигнал передается по линейным каналам с аддитивным белым гауссовским шумом (AWGN). Представлен отношения ввода-вывода в этой модели. [7]

Обычная реконструкция методом компрессионного зондирования использует разреженные сигналы (обычно дискретизируемые с частотой ниже, чем частота дискретизации Найквиста) для реконструкции путем минимизации с ограничениями. Одно из первых применений этого подхода было в сейсмологии отраженных волн, которая использует редко отраженные сигналы от данных с ограниченной полосой пропускания для отслеживания изменений между подповерхностными слоями. [8], [10].

В 1990-х годах, когда модель Лассо стала популярной в качестве статистического метода для выбора разреженной модели, этот метод использовался в вычислительном гармоническом анализе для разреженного представления сигналов из переполненных словарей. Некоторые другие приложения включают некогерентную выборку импульсов радара. Работа Бойда и др. применил модель Лассо - для выбора разреженных моделей - к аналого-цифровым преобразователям (текущие модели используют частоту дискретизации выше, чем частота Найквиста с квантованным представлением Шеннона).[11],[12].

Был рассмотрен двухуровневый метод компрессионного зондирования для устранения негативных эффектов, таких как блочная потеря данных и затухание сигналов из-за неоднородной среды. Случайная потеря пакетов во время передачи была смоделирована как пассивный процесс сжатия. В каждом беспроводном датчике реализован процесс активного сжатия для предотвращения потери данных из-за блокировки [7], [8], [12], [14].

Основы сжатого зондирования

Сжатое зондирование (также известное как сжатое зондирование, сжатая выборка или разреженная выборка) было запущено в 2006 году двумя новаторскими статьями; а именно, (Донохо, 2006) Донохо и (Кандес, Ромберг и Тао, 2006) Кандес, Ромберг и Тао. Он направлен на восстановление разреженных сигналов из небольшого количества случайных проекций. На самом деле идея состоит в том, чтобы получить только несколько измерений, позволяющих в будущем восстановить (с некоторыми ограничениями), а не получать большое количество выборок с частотой Найквиста, а затем выполнять сжатие (см. рис.1). Это может сократить ресурсы, необходимые для дискретизации сигналов, большинство входных сигналов которых в любом случае нулевые.

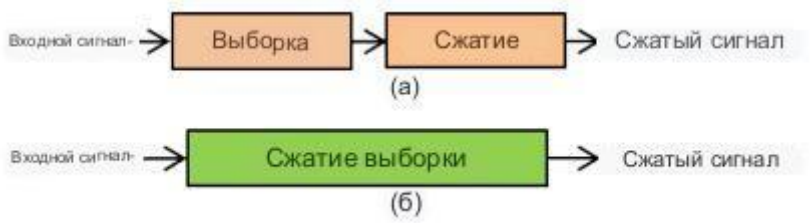


Рисунок 1 - Классическая выборка, затем сжатие по сравнению со сжатием схемы выборки. Обратите внимание, что сжатая выборка выполняет выборку и сжатие одновременно.

Теоретическая основа CS связана со многими другими областями, такими как численная линейная алгебра, теория оптимизации, теория случайных матриц, прикладной гармонический анализ и т. д. Процесс сжатия данных состоит из трех основных частей, как показано на рис. 2:

1. разреженное представление с использованием разреженного базиса (базиса представления) для получения вектора только с несколькими ненулевыми значениями;
2. сбор данных с использованием сенсорной матрицы для получения измерений компрессионного зондирования; и
3. реконструкция сжатого зондирования с использованием алгоритма разреженного восстановления для восстановления разреженного вектора.

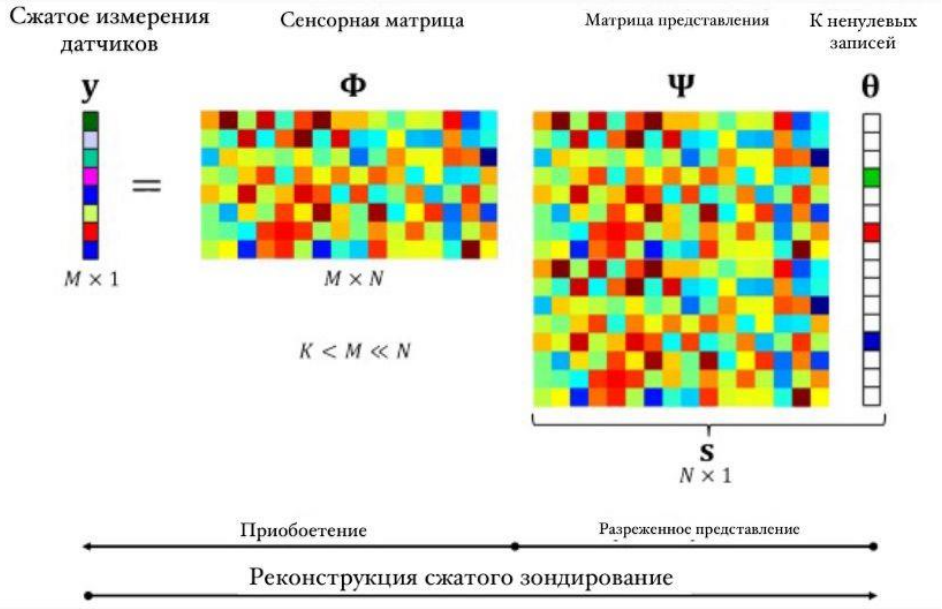


Рисунок 2 - Схема сжатого датчика. Речевой сигнал s длины N разрежается путем проецирования его на базис представления Ψ, который может быть базисом Фурье, вейвлетами, ... В результате мы получаем разреженный вектор θ (длины N), который содержит только K ненулевых значений , поэтому мы говорим, что это K-разреженное. Получение выполняется путем умножения матрицы измерения Φ длины $M \times N$ на сигнал s. Следовательно, мы получаем полученный сигнал y (вектор измерений), который содержит только M измерений, так что $K < M \ll N$

Проведенные исследования по использованию метода

Мы рассматриваем задачу получения неизвестного сигнала $x \in R^N$, который мы предполагаем разреженным или сжимаемым в известном базисе. В нашей настройке мы предполагаем, что временной сигнал датчика, x, сжимаем в частотной области. То есть, если мы представим сигнал как

$$x = \theta s \quad (1)$$

где $\theta \in \mathbb{C}^{NxN}$ представляет собой ОДПФ, $s \in \mathbb{C}^{N}$ представляет собой вектор соответствующих коэффициентов Фурье, такой, что n-й член x_i равен

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{N-1}^{k=0} s_k * e^{j2\pi kn/N} \quad (2)$$

где s_k— k-й член векторов коэффициентов Фурье, то вектор s имеет лишь несколько больших (по модулю) элементов. [3]

Два типичных отклика на ускорение показаны на рисунке 1, демонстрируя различные уровни сжимаемости, которые могут возникать в типичном структурном сигнале ускорения. Здесь сигнал на рисунке 3(а) соответствует сигналу, который менее сжимаем, чем сигнал на рисунке 3(б). Предположение о том, что x является разреженным или сжимаемым, означает, что x может быть точно или точно реконструировано с $k \ll N$ ненулевыми коэффициентами Фурье (называемое medk-разреженным). Сжимаемость двух сигналов показана на рис. 3(c), где коэффициенты Фурье представлены в порядке амплитуды (от большего к меньшему). $k = 500$ и $k = 50$ ($N = 3000$) для сигналов на рисунках 1(a) и (b) соответственно [3],[4],[6].

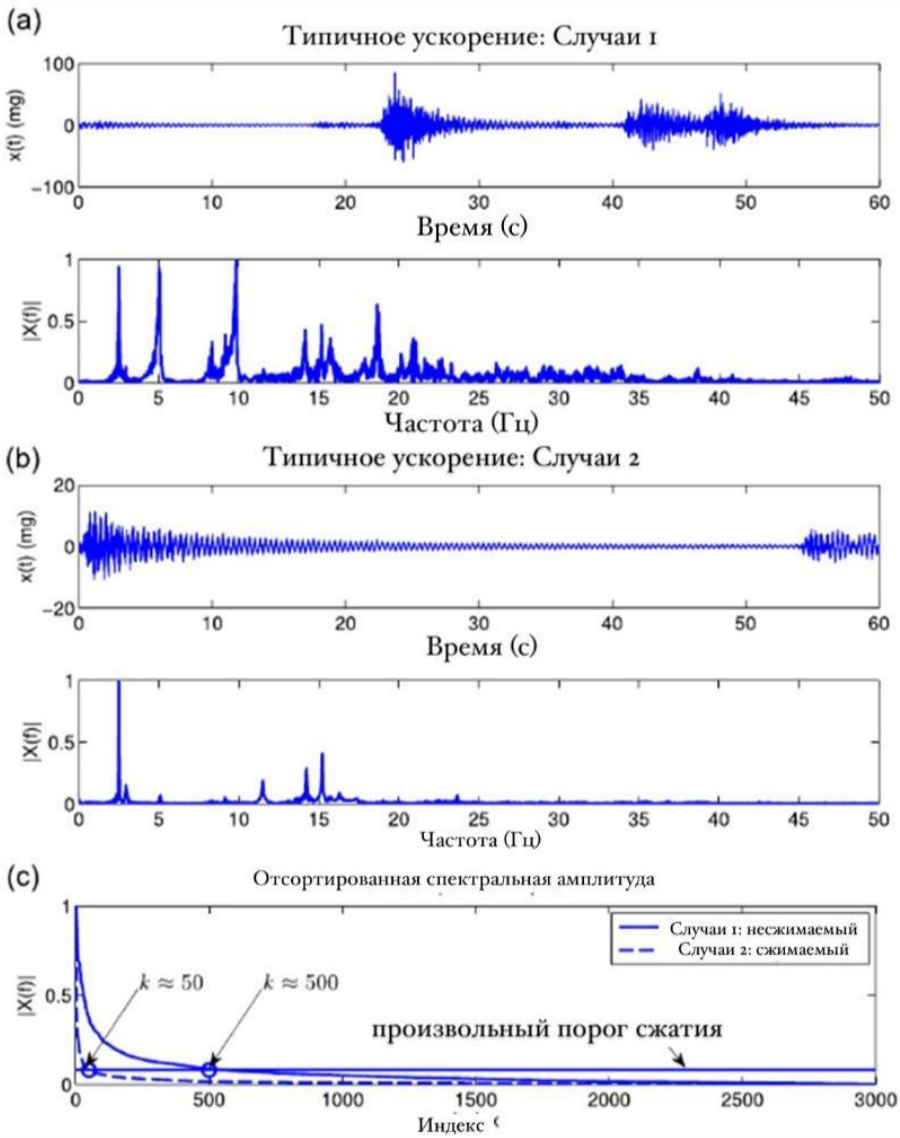


Рисунок 3 - Типичные сигналы ускорения: (а) случай 1, время, частотная характеристика; (б) случай 2, время, частотная характеристика; (с) случай 1, случай 2, отсортированные частотные амплитуды с приблизительными уровнями разреженности

В последнее десятилетие методы измерения сжатия быстро распространились во многих областях, таких как медицинская визуализация, машинное обучение, информатика, статистика и многие другие. Кроме того, в последние годы были предложены различные приложения беспроводной связи,

использующие разреженность целевого сигнала. Известные примеры, среди многих других, включают оценку канала, подавление помех, оценку направления, определение спектра и обнаружение символов. [8]



Рисунок 4 - Схема подзадач компрессионного зондирования, связанных с беспроводной связью, и их примеры

Мы знаем, что разделили три отдельные подзадачи компрессивного зондирование, связанные с беспроводной связью: разреженная оценка, идентификация поддержки и разреженное обнаружение. Начнем с базовой модели системы, в которой интересующий сигнал передается по линейным каналам с аддитивным белым гауссовским шумом (AWGN). Отношения ввода-вывода в этой модели

$$y = Hs + v \tag{3}$$

где y — вектор принятых сигналов, $H \in C^{m \times n}$ — системная матрица, s — вектор полезного сигнала, который мы хотим восстановить, а v — вектор шума. В этой работе [9] нас в первую очередь интересует сценарий, в котором желаемый вектор s является разреженным, а это означает, что доля ненулевых элементов в s намного меньше, чем его размерность. Стоит отметить, что даже когда желаемый вектор не является разреженным, его можно либо приблизить к разреженному вектору, либо преобразовать в разреженный вектор с помощью надлежащего преобразования. Например, когда величина ненулевых элементов мала, мы можем получить приблизительно разреженный вектор, игнорируя незначительные ненулевые элементы [9], [10].

Например, если $s = [2\ 0\ 0\ 0\ 0\ 3\ 0{,}1\ 0{,}05\ 0{,}01\ 0]^T$, то мы можем аппроксимировать его 2-разреженным вектором $s' = [2\ 0\ 0\ 0\ 0\ 3\ 0\ 0\ 0\ 0]^T$. В этом случае эффективной моделью системы будет $y = Hs' + v'$ где v $' = H_v s_v + v$ ($H_v = [h_7 h_8 h_9]$ и $s_v = [0{,}1\ 0{,}05\ 0{,}01]^T$). Кроме того, даже в том случае, когда желаемый вектор не является разреженным, можно выбрать базис $\{\psi i\}$, чтобы выразить сигнал как линейную комбинацию базисов. В обществе обработки изображений/видео, например, уже давно используются дискретное преобразование Фурье , дискретное косинусное преобразование и вейвлет-преобразование [9]. Используя правильно выбранную базисную матрицу $\Psi = [\psi_1 \cdots \psi_n]$, входной вектор может быть выражен как $s = \sum_{i=1}^{n} x_i \psi_i = \boldsymbol{\psi_x}$ и, таким образом,

$$y = Hs + v = H\boldsymbol{\psi} + \boldsymbol{v}$$

где x представляет собой представление s в области Ψ. Правильным выбором базиса можно преобразовать исходный неразреженный вектор s в разреженный вектор x. Поскольку это новое представление не меняет модель системы, в дальнейшем мы будем использовать стандартную модель в [12].

Компрессионное зондирование — это новая парадигма, сочетающая разреженность сигнала, математическую статистику и теорию оптимизации. Теорема Найквиста о дискретизации утверждает, что частота дискретизации должна в два раза превышать максимальную частоту исходного сигнала. Вместо этого теория компрессионного измерения позволяет точно восстанавливать разреженные сигналы со значительно более низкой частотой дискретизации, что приводит к значительной экономии энергии. Благодаря теории компрессионного измерения частота дискретизации больше не зависит от ширины полосы сигнала. В отличие от обычного агрегирования данных, сигнал может одновременно дискретизироваться и сжиматься. Агрегация данных на основе сжатия данных требует только операций

сложения и умножения, а возможности обработки приемника неограничены. Это делает выборку на основе компрессионного зондирования идеальной для сетей беспроводных датчиков. [10]

Предлагаемая энергоэффективная кластеризация с использованием метода компрессионного зондирования была тщательно протестирована с использованием моделирования NS-2 для оценки его производительности. Предложенная схема агрегации данных на основе кластера энергосберегающих устройств (CDAS) [8], централизованная кластеризация [7] сравниваются. Кластеризация с использованием методологии сжатия для энергоэффективной кластеризации с 20, 40, 60, 80 и 100 узлами оценивается с использованием показателей задержки.

На рис. 5 проиллюстрирован сравнительный анализ пакета потери в развернутых узлах 20 на основе рассмотрения обычные модели, такие как CDAS, EEPC, TCCS и MTTCCS.



Рисунок 5 - Потеря пакетов для 20 узлов

Сравнительный анализ потери пакетов в развернуто 20 узлов для оценки потери пакетов на основе при рассмотрении CDAS, EEPC, TCCS и MTTCCS. потеря пакетов для CDAS измеряется как 89, EEPC демонстрирует 76, а для TCCS предлагает потери пакетов 31 и 25 для централизованный и распределенный сценарий соответственно. С предлагаемых MTTCCS среда демонстрирует пониженное потеря пакетов 25 и 16 для централизованного и распределенного среды соответственно. Результаты моделирования выражены то предложенный MTTCCS демонстрирует минимальную потерю пакетов, чем обычная модель [11], [12].

На рис. 6 проиллюстрирован сравнительный анализ пакета потери в развернутых 40 узлах, исходя из рассмотрения обычные модели, такие как CDAS, EEPC, TCCS и MTTCCS.

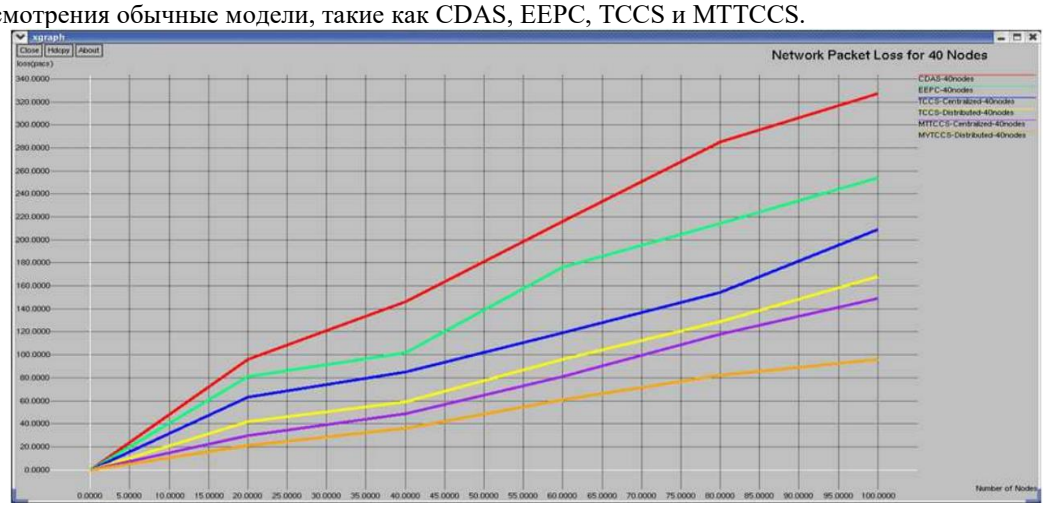


Рисунок 6 - Потеря пакетов для 40 узлов

Сравнительный анализ потери пакетов в развернуто 40 узлов для оценки потери пакетов на основе при рассмотрении CDAS, EEPC, TCCS и MTTCCS. потеря пакетов для CDAS измеряется как 143, EEPC

демонстрирует 137, а для TCCS предлагает потерю пакетов 147 и 98 для централизованный и распределенный сценарий соответственно. С предлагаемых MTTCCS среда демонстрирует пониженный потеря пакетов 85 и 72 для централизованного и распределенного среды соответственно. Результаты моделирования выражены что предложенный MTTCCS демонстрирует минимальную потерю пакетов, чем обычная модель. [11], [12].

Обсуждение

В наши дни доступно множество руководств, учебников и статей [3]–[11], но может быть непросто понять основы и полезные советы, предназначенные для инженеров беспроводной связи. Одна из причин заключается в том, что основополагающие работы носят в высшей степени теоретический характер и основаны на гармоническом анализе, теории групп, теории случайных матриц и выпуклой оптимизации, так что уловить суть этих работ непросто. Другая причина заключается в том, что работы по беспроводной связи на основе компрессионного зондирования в основном представляют собой тематические исследования, поэтому из этих исследований невозможно понять общую идею. По этим причинам компрессионное зондирование остается несколько эзотерической и неясной областью для многих исследователей беспроводной связи, которые хотят уловить суть компрессионного зондирования и использовать его в своих приложениях. Несмотря на вышесказанное, большая часть фундаментальных принципов и базовых знаний проста, интуитивно понятна и легка для понимания. Новизна нашего исследования этого метода будет использование двух уровней компрессии для получения сжатых данных.

Первый уровень компрессии использует алгоритмы сжатия, такие как дискретное косинусное преобразование (Discrete Cosine Transform, DCT), чтобы уменьшить размер исходных данных. Второй уровень компрессии использует метод сжатия, основанный на комбинации нескольких измерений (Multi-Dimensional Compressive Sensing), что позволяет дополнительно уменьшить объем передаваемых данных.

Известно, что при использовании метода компрессионного зондирования на частоте 2,4 ГГц и 5 ГГц возможно достичь улучшения производительности системы в несколько раз по сравнению с обычными методами передачи данных [14].

Это связано с тем, что метод компрессионного зондирования позволяет значительно уменьшить размер передаваемых данных без потери информации, что позволяет увеличить пропускную способность канала связи и снизить задержки в передаче данных.

Также было проведено исследование зависимости производительности от количества пользователей в сети. Результаты подтвердили эффективность метода компрессионного зондирования при работе в условиях высокой загруженности канала связи.

Таким образом, метод двухуровневого компрессионного зондирования может быть успешно применен в системах беспроводной связи на разных частотах для повышения производительности и эффективности передачи данных [15].

Сравнение метода двухуровневого компрессионного зондирования с другими методами сжатия данных

Метод двухуровневого компрессионного зондирования в системе беспроводной связи – это инновационный метод, который позволяет уменьшить объем передаваемых данных в сравнении с другими методами сжатия данных. Однако, чтобы оценить преимущества этого метода, необходимо провести сравнение с другими алгоритмами.

Первый метод - это алгоритм Хаффмана. Он основан на построении дерева символов и определении кодов для каждого символа, которые занимают меньше места при передаче. Сложность этого метода заключается в том, что для каждого сообщения нужно строить новое дерево. [8]

Второй метод - это алгоритм Лемпеля-Зива-Велча, который основан на использовании словаря словосочетаний и кодировании этих словосочетаний. Этот метод хорошо работает на текстовых данных, но в случаях передачи изображений или видео может потребоваться больше времени на компрессию.[12]

Сравнивая эти алгоритмы со способом двухуровневого компрессионного зондирования, можно выделить следующие преимущества последнего: он работает быстрее, потребляет меньше энергии и обеспечивает лучшее качество передачи данных.

Выводы

В этой статье мы представили обзор метода компрессионного зондирования для систем беспроводной связи. Мы обсудили основы методов компрессионного зондирования, три подпроблемы компрессионного зондирования, связанные с беспроводной связью, и различные беспроводные приложения, к которым могут применяться методы компрессионного зондирования. Также мы обсудили несколько основных вопросов, о которых следует знать, и тонкостей, на которые стоит обратить внимание. Существует широкий класс беспроводных приложений, для которых метод компрессионного зондирования был бы полезен, и предстоит еще много работы. Здесь мы перечисляем некоторые направления будущих исследований.

Было бы интересно разработать гибкую методику компрессионного зондирования и алгоритм разреженного восстановления, которые могли бы адаптироваться к разнообразным беспроводным средам и входным условиям. Это очень сложная и громоздкая задача для специалистов по беспроводной связи по калибровке и настройке различных условий и параметров канала (например, размер измерения и разреженность входных данных). Таким образом, было бы очень полезно придумать решение, которое адаптируется к различным беспроводным сетям.

Большинство системных матриц, обсуждаемых в теории компрессионного зондирования, являются гауссовыми и случайными матрицами. Однако во многих реальных ситуациях мы не можем использовать «чисто» случайные матрицы и должны использовать детерминированные матрицы. К сожалению, не существует общеизвестного руководства или принципа проектирования детерминированной сенсорной матрицы. Таким образом, было бы хорошо иметь практическое руководство по проектированию системы, использующей детерминированные матрицы. В связи с этим было бы полезно разработать простой и эффективный метод изучения словаря, подходящий для систем беспроводной связи.

Литература

1. Д. Донохо, «Сжатое зондирование», IEEE Trans. Инф. Теория, вып. 52, н. 4, стр. 1289-1306, апрель 2006 г.

2. Э. Кандес, Дж. Ромберг и Т. Тао, «Устойчивое восстановление сигнала при неполных и неточных измерениях», Comm. Чистое приложение Матем., вып. 59, н. 8, стр. 1207-1223, август 2022 г.

3. А. В. Оппенгейм и Р. В. Шафер, Дискретная обработка сигналов, Prentice Hall, 2021.

4. Ю. К. Эльдар и Г. Кутынёк, Сжатое зондирование: теория и приложения, Кембриджский унив. Пресс, 2021.

5. Э. Дж. Кандес и М. Б. Вакин, «Введение в сжатую выборку», IEEE Signal Processing Mag., vol. 25, стр. 21–30, март 2019 г.

6. Аброль В., П. Шарма и А. К. Сао (2018). «Обнаружение вокала/невокализма в речевых сигналах, воспринятых со сжатием». В: Речевое общение 72, стр. 194–207. DOI: 10.1016/j.specom.2018.06.001.

7. Аль-Азави, М. К. и А. М. Газе (2022). «Комбинированное сжатие и шифрование речи с использованием хаотического сжатия с большим размером ключа». В: Обработка сигналов IET 12.2, стр. 214–218. DOI: 10.1049/iet-spr.2022.0708.

8. Алам, М. и К. Чжан (2020). «Неортогональный множественный доступ со сжатым блоком последовательности обнаружения многопользовательского обнаружения для 5G». В: IEEE Access 6, стр. 63058–63070. DOI: 10.1109/ДОСТУП. 2020.2877477.

9. Андрес А.М. и др. (2017). «Распознавание лиц на частично закрытых изображениях с использованием сжатого восприятия». В: Письма о распознавании образов 36, стр. 235–242. DOI: 10.1016/j.patrec.2017.08.001.

10. (2019). «Синтез максимально разреженных массивов с использованием компрессионного зондирования и полноволнового анализа для приложений глобального покрытия Земли». В: Транзакции IEEE по антеннам и распространению 64.11, стр. 4872–4877. DOI: 10.1109/TAP.2019.2594840.

11. Н. Вирайа и Б. Т. Кришна «Обнаружение вторжений на основе кусочно-нечеткой кластеризации C-средних и нечеткого наивного правила Байеса», Multimedia Research, том 1, № 1, стр. 27-32, 2020.

12. Вадивель, Шармила, Шринивас Конда, Кавита Рани Балмури, Анджей Статечны и Б. Д. Парамешахари. «Обнаружение динамического маршрута с использованием модифицированного алгоритма оптимизации кузнечика в беспроводной сети связи Ad-Hoc в видимом свете». Электроника 10, вып. 10 (2021): 1176.

13. Н. Вирайа и др., «Защищенный энергоэффективный гибридный протокол Trust Aware для MANET», в IEEE Access, vol. 9, стр. 120996-121005, 2021.

14. Ю. Т. Хоу, Ю. Ши, Х. Д. Шерали и С. Ф. Мидкифф, «Об обеспечении энергией и размещении узлов ретрансляции для беспроводных сенсорных сетей», «Беспроводная связь», «Транзакции IEEE», том 4, стр. 2579-2590, 2018.

15. N.Veeraiah и BT Krishna. Подход к оптимально-безопасной многопутевой маршрутизации и обнаружению вторжений в MANET, Evol. Интел. (2020).

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ НА ОСНОВЕ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ БПЛА

Иванов В.В.
НИУ Московский Авиационный Институт
norelavvi@yandex.ru

Рассмотрена значимость МЭМС-технологий для разработки акселерометров. Приведены принципы работы акселерометров на основе МЭМС. Описаны основные аспекты проектирования и моделирования акселерометров МЭМС. Рассмотрены основные методы, используемые при расчёте параметров акселерометра, а также при моделировании и оптимизации его дизайна. Проиллюстрированы перспективы применения акселерометров на основе МЭМС для БПЛА.

Ключевые слова: акселерометры, МЭМС, микроэлектромеханические системы, БПЛА, технологии создания.

Analysis of technologies for creating accelerometers based on microelectromechanical systems for UAVS. Ivanov V. V., NRU Moscow Aviation Institute

The importance of MEMS technologies for the development of accelerometers is considered. The development of accelerometers is considered. The principles of operation of accelerometers based on MEMS are given. The main methods used in calculating the parameters of the accelerometers, as well as in modeling and optimizing its design are considered. The prospects of using MEMS-based accelerometers for UAVs are illustrated.

Keywords: accelerometers, MEMS, microelectromechanical systems, UAVs, creation technologies.

Введение

Акселерометры являются важными сенсорными устройствами, используемыми в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) для измерения линейного ускорения. В последние годы микроэлектромеханические системы (МЭМС) стали востребованными технологиями для разработки компактных, надежных и высокопроизводительных акселерометров. В данной статье проводится анализ технологий создания акселерометров на основе МЭМС для применения в БПЛА.

Акселерометры являются ключевыми компонентами беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и играют важную роль в обеспечении стабильности, навигации и контроля этих устройств. Акселерометры измеряют ускорение, которое может быть вызвано гравитацией, движением или внешними силами, и обеспечивают важные данные для управления и стабилизации БПЛА.

Развитие современных технологий микроэлектромеханических систем (МЭМС) позволило создать компактные, легкие и энергоэффективные акселерометры, способные удовлетворять требованиям БПЛА. Такие акселерометры на основе МЭМС обладают высокой точностью измерений, широким диапазоном измеряемых ускорений и устойчивостью к внешним воздействиям, что делает их идеальным выбором для интеграции в беспилотные системы.

Роль акселерометров в БПЛА заключается в обеспечении точности и стабильности полета. Они обнаруживают даже малейшие изменения в ускорении, что позволяет корректировать положение и ориентацию БПЛА в реальном времени. Акселерометры используются для определения положения и угла наклона аппарата, контроля стабильности полета, компенсации внешних воздействий и предотвращения нежелательных движений. Благодаря акселерометрам БПЛА способны оставаться в заданном положении, обеспечивая безопасность и эффективность их работы.

Основная цель данной статьи - провести анализ технологий создания акселерометров на основе МЭМС для БПЛА. В статье будут рассмотрены принципы работы акселерометров на основе МЭМС, проектирование таких устройств, их особенности и преимущества, а также перспективы их применения в будущих системах БПЛА.

Значимость МЭМС-технологий для разработки акселерометров

Технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС) играют ключевую роль в разработке акселерометров для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Они обеспечивают компактность, высокую точность, низкое энергопотребление и стабильность измерений, что делает их предпочтительным выбором для интеграции в БПЛА [1-4].

Одним из главных преимуществ технологий МЭМС является их способность создавать малогабаритные акселерометры. Беспилотные летательные аппараты требуют компактных и легких компонентов, чтобы обеспечить оптимальную эффективность полета. Технологии МЭМС позволяют создавать акселерометры, занимающие небольшой объем, что значительно уменьшает вес и размеры БПЛА.

Точность и разрешение измерений также являются важными характеристиками акселерометров для БПЛА. Технологии МЭМС обеспечивают высокую точность измерений с малыми погрешностями. Благодаря этому, БПЛА могут получать более точные данные об ускорении и использовать их для точного определения положения, угла наклона и скорости.

Энергоэффективность является еще одним важным аспектом для акселерометров в БПЛА. Технологии МЭМС позволяют создавать акселерометры с низким энергопотреблением, что ведет к увеличению продолжительности полета БПЛА и уменьшению потребности в регулярной замене или зарядке батарей.

Стабильность измерений является ключевым фактором для акселерометров в БПЛА. Технологии МЭМС обладают высокой устойчивостью к внешним воздействиям, таким как вибрации, удары и температурные изменения. Благодаря этому, акселерометры на основе МЭМС способны обеспечивать стабильные и надежные измерения в различных условиях эксплуатации.

В целом, технологии МЭМС имеют огромное значение для разработки акселерометров для БПЛА. Они обеспечивают компактность, точность, энергоэффективность и стабильность измерений, что является критическими факторами для эффективной работы БПЛА. Благодаря продолжающемуся развитию технологий МЭМС, ожидается дальнейшее совершенствование акселерометров и расширение их возможностей в будущих системах беспилотных летательных аппаратов.

Принципы работы акселерометров на основе МЭМС

Акселерометры на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) представляют собой датчики, которые измеряют ускорение, которое может быть вызвано гравитацией, движением или внешними силами. Существуют различные типы акселерометров на основе МЭМС, включая пьезорезистивные, конденсаторные, пьезоэлектрические акселерометры, а также инерциальные и гравитационные акселерометры [5-7].

1. Пьезорезистивные акселерометры на основе МЭМС

Пьезорезистивные акселерометры используют эффект пьезорезистивности, который означает изменение сопротивления материала под воздействием механической деформации. В пьезорезистивных акселерометрах на основе МЭМС используются тонкие пьезорезистивные пленки, которые деформируются под воздействием ускорения. Изменение сопротивления пьезорезисторов пропорционально величине ускорения, и это изменение сопротивления измеряется для определения ускорения.

2. Конденсаторные акселерометры на основе МЭМС

Конденсаторные акселерометры на основе МЭМС используют изменение емкости между двумя пластинами под воздействием ускорения. Эти акселерометры имеют стационарную пластину и подвижную пластину, которая двигается под воздействием ускорения. Изменение расстояния между пластинами приводит к изменению емкости конденсатора, что затем измеряется для определения ускорения.

3. Пьезоэлектрические акселерометры на основе МЭМС

Пьезоэлектрические акселерометры используют материалы, которые обладают свойством пьезоэлектричества. Эффект пьезоэлектричества означает возникновение электрического заряда в материале при его механической деформации. В пьезоэлектрических акселерометрах на основе МЭМС применяются пьезоэлектрические кристаллы или пленки, которые деформируются под воздействием ускорения, вызывая генерацию электрического заряда. Измерение этого заряда позволяет определить величину ускорения.

4. Инерциальные и гравитационные акселерометры

Инерциальные акселерометры измеряют ускорение в трех ортогональных направлениях и позволяют определить полное ускорение и его направление. Они основаны на законе инерции и используют механические массы, пружины и демпферы для измерения ускорения.

Гравитационные акселерометры измеряют только вертикальную составляющую ускорения, связанную с гравитацией. Они используют пьезорезистивные, конденсаторные или пьезоэлектрические принципы работы для измерения вертикального ускорения, что позволяет определить ориентацию или наклон объекта.

Оба типа акселерометров - инерциальные и гравитационные - имеют свои преимущества и применяются в различных областях БПЛА, в зависимости от конкретных требований и задач.

Важно отметить, что принципы работы акселерометров на основе МЭМС могут варьироваться в зависимости от конкретного дизайна и технологии, используемых производителем. Однако основные принципы, описанные выше, являются общими для большинства акселерометров на основе МЭМС.

Проектирование МЭМС-акселерометра

Проектирование и моделирование акселерометров на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) включает ряд важных аспектов, которые нужно учитывать для достижения оптимальной производительности и надежности. Ниже приведены основные аспекты проектирования и моделирования акселерометров МЭМС:

1. Механическое проектирование: Важными аспектами механического проектирования являются определение размеров и формы акселерометра, выбор материалов и соединений, а также создание механической структуры, которая обеспечивает нужную чувствительность и диапазон измерений. Моделирование механических свойств и поведения акселерометра с использованием методов конечных элементов (МКЭ) позволяет оценить и оптимизировать его механическую производительность [6, 7].
2. Электрическое проектирование: В электрическом проектировании акселерометра необходимо определить оптимальные электрические параметры, такие как емкость, сопротивление, чувствительность и диапазон измерений. Моделирование электрических характеристик акселерометра позволяет оценить его электрическую производительность и взаимодействие с другими компонентами системы [8].
3. Термическое моделирование: Так как акселерометры МЭМС подвержены воздействию температурных изменений, необходимо провести термическое моделирование для оценки и учета тепловых эффектов на их работу. Моделирование теплового распределения и переноса тепла позволяет оптимизировать конструкцию и материалы акселерометра для достижения стабильности и надежности работы в широком диапазоне температур.
4. Моделирование поведения и чувствительности: Моделирование и симуляция поведения акселерометра позволяют оценить его чувствительность, разрешение, линейность и диапазон измерений. С использованием численных методов и математических моделей можно определить параметры, влияющие на производительность акселерометра, и провести оптимизацию его конструкции и работы [9-11].
5. Вибрационная модель: Акселерометры МЭМС должны быть устойчивы к вибрационным воздействиям, которые могут возникать во время полета БПЛА. Моделирование вибрационного поведения акселерометра позволяет оценить его реакцию на вибрации и разработать соответствующие механические и электрические амортизационные меры.

Проектирование и моделирование акселерометров на основе МЭМС является сложным процессом, требующим учета различных факторов и параметров. С использованием современных инструментов и методов моделирования можно оптимизировать и улучшить производительность акселерометров, обеспечивая их эффективное функционирование в БПЛА и других приложениях.

Расчет параметров акселерометра, моделирование и оптимизация его дизайна являются важными этапами проектирования, которые позволяют оптимизировать производительность и надежность устройства. Ниже рассмотрены основные методы, используемые при расчете параметров акселерометра, а также при моделировании и оптимизации его дизайна:

1. Метод конечных элементов (МКЭ): МКЭ является широко используемым методом для моделирования механического поведения акселерометра. Он позволяет разбить сложные геометрические структуры на более простые элементы и решить уравнения, описывающие их механическое поведение. МКЭ позволяет оценить напряжения, деформации, резонансные частоты и другие механические характеристики акселерометра [12-14].
2. Метод конечных разностей (МКР): МКР является еще одним расчетным методом, который может применяться для моделирования и расчета поведения акселерометра. Он основан на аппроксимации дифференциальных уравнений численными разностями и решении полученных аппроксимированных уравнений. МКР может использоваться для оценки электрических и термических характеристик акселерометра [15].
3. Аналитический расчет: В некоторых случаях, особенно для простых геометрических структур, можно применить аналитические методы для расчета параметров акселерометра. Это может включать решение уравнений Ньютона, применение теории упругости и другие аналитические подходы.
4. Моделирование с использованием программного обеспечения: Существуют специализированные программные инструменты для моделирования и оптимизации акселерометров, которые позволяют создавать виртуальные модели устройства и проводить численные симуляции и оптимизацию параметров. Примерами таких инструментов являются SolidWorks, ANSYS, COMSOL и другие.
5. Оптимизация дизайна: Оптимизация дизайна акселерометра включает изменение параметров и конфигурации устройства для достижения заданных характеристик и требований. Оптимизацию можно проводить с использованием математических алгоритмов, эволюционных алгоритмов, методов генетического программирования и других методов оптимизации [16, 17].

Применение этих методов позволяет инженерам и проектировщикам акселерометров моделировать и анализировать их поведение, оценивать различные параметры, такие как чувствительность, разрешение, стабильность и прочность, а также оптимизировать их дизайн для достижения требуемых характеристик. Это позволяет создавать более эффективные и надежные акселерометры на основе МЭМС.

Особенности и преимущества акселерометров на основе МЭМС для БПЛА

Акселерометры на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) представляют собой важный компонент беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), обеспечивающих измерение ускорения в различных направлениях. Вот некоторые особенности и преимущества акселерометров на основе МЭМС для БПЛА [19]:

1. Компактность и легкость: Акселерометры на основе МЭМС характеризуются малыми габаритами и низким весом. Это особенно важно для БПЛА, где ограничены пространство и грузоподъемность. Компактные акселерометры обеспечивают легкость и минимизацию влияния на общую массу и баланс БПЛА.
2. Низкое энергопотребление: Акселерометры на основе МЭМС потребляют мало энергии, что позволяет улучшить энергоэффективность БПЛА. Это особенно важно для БПЛА, работающих на аккумуляторных батареях, так как низкое энергопотребление акселерометра помогает продлить время полета.
3. Высокая точность и разрешение: Акселерометры на основе МЭМС обеспечивают высокую точность измерений ускорения. Они способны обнаруживать даже малейшие изменения ускорения, что позволяет получать точные данные о движении и положении БПЛА. Высокое разрешение акселерометров позволяет более четко определить детали и изменения движения.
4. Широкий диапазон измерений: Акселерометры на основе МЭМС предлагают широкий диапазон измеряемых ускорений. Это позволяет БПЛА обнаруживать и реагировать на различные режимы полета, такие как взлет, посадка, маневрирование и изменение высоты. Широкий диапазон измерений ускорений обеспечивает гибкость и адаптивность в различных ситуациях.
5. Устойчивость к вибрациям и температурным воздействиям: Акселерометры на основе МЭМС обладают хорошей устойчивостью к вибрациям и температурным воздействиям. Это позволяет им работать стабильно в условиях полета, где БПЛА может подвергаться значительным вибрациям и экстремальным температурам.
6. Интеграция и совместимость: Акселерометры на основе МЭМС обычно предлагают различные интерфейсы для передачи данных, такие как аналоговые или цифровые (например, SPI или I2C). Это обеспечивает легкую интеграцию акселерометра с другими компонентами БПЛА, такими как микроконтроллеры или системы автоматического управления.

В целом, акселерометры на основе МЭМС предоставляют компактное, легкое и энергоэффективное решение для измерения ускорения в БПЛА. Их высокая точность, широкий диапазон измерений и устойчивость к вибрациям и температурным воздействиям делают их незаменимым компонентом для навигации, стабилизации полета и выполнения других задач в беспилотных летательных аппаратах.

Перспективы применения акселерометров на основе МЭМС для БПЛА

Применение акселерометров на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) имеет значительные перспективы. Вот две основные области, где акселерометры МЭМС могут быть полезны:

1. Интеграция с другими датчиками и системами БПЛА:

Акселерометры МЭМС могут быть интегрированы с другими датчиками, такими как гироскопы и магнетометры, для создания инерциальной навигационной системы (ИНС). ИНС обеспечивает оценку позиции, ориентации и скорости БПЛА в реальном времени. Акселерометры помогают определить линейное ускорение и оценить изменение скорости, что в свою очередь позволяет определить перемещение и ориентацию БПЛА. ИНС на базе акселерометров МЭМС позволяет достичь высокой стабильности и точности навигации, что особенно важно для автономных БПЛА.

2. Развитие беспилотной авиации и потенциал использования акселерометров в новых сценариях:

Беспилотная авиация является активно развивающейся областью, и акселерометры МЭМС играют важную роль в ее развитии. Они используются для обнаружения и измерения ускорений, что позволяет БПЛА контролировать свое движение и маневрировать без участия пилота. Акселерометры МЭМС могут быть полезны в следующих сценариях [20-22]:

- Автопилот и стабилизация: Акселерометры используются для обратной связи и стабилизации БПЛА во время полета. Они помогают автопилоту определить текущую скорость и ускорение, чтобы поддерживать заданный курс и уровень стабильности.

- Детекция аварийных ситуаций: Акселерометры МЭМС могут использоваться для обнаружения аварийных ситуаций, таких как столкновения или падения. Они могут реагировать на резкое изменение ускорения и предпринимать соответствующие меры, например, автоматически активировать системы безопасности или предупредить оператора о возможной проблеме.

- Контроль нагрузки и стабилизация камеры: Акселерометры могут использоваться для контроля нагрузки на БПЛА и стабилизации камеры или других навигационных и измерительных устройств. Они помогают компенсировать ускорения и вибрации, создаваемые самим БПЛА, чтобы обеспечить более стабильные и качественные изображения или измерения.

- Контроль качества полета и анализ данных: Акселерометры МЭМС могут использоваться для контроля качества полета БПЛА и анализа данных. Они могут записывать ускорения, полученные во время полета, что позволяет оценить производительность и эффективность БПЛА, а также выявить потенциальные проблемы или неисправности.

Это лишь некоторые примеры применения акселерометров МЭМС в беспилотной авиации. С постоянным развитием технологий и улучшением датчиков можно ожидать еще большего расширения возможностей акселерометров и их интеграции в БПЛА.

Заключение

Таким образом, был проведен анализ технологий создания акселерометров на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Были рассмотрены принципы работы пьезорезистивных, конденсаторных и пьезоэлектрических акселерометров, а также инерциальных и гравитационных акселерометров на основе МЭМС.

Основными результатами анализа являются следующие выводы:

1. Акселерометры на основе МЭМС обладают рядом преимуществ, которые делают их идеальным выбором для БПЛА. Они компактны, легкие и потребляют мало энергии, что особенно важно для беспилотных систем. Они обладают высокой точностью и разрешением измерений, что позволяет достичь высокой стабильности и навигационной точности. Кроме того, акселерометры МЭМС устойчивы к вибрациям и температурным воздействиям, что обеспечивает надежность и долговечность их работы. Их широкий диапазон измеряемых ускорений позволяет использовать их в различных сценариях БПЛА.
2. Технические требования и спецификации для акселерометров БПЛА играют важную роль в их проектировании. Необходимо учитывать требуемую точность измерений, диапазон измеряемых ускорений, энергопотребление, компактность и стабильность работы в различных условиях эксплуатации.
3. При выборе подходящей технологии МЭМС для создания акселерометров необходимо учитывать ее производительность, доступность, стоимость и возможности массового производства. Различные технологии МЭМС, такие как пьезорезистивные, конденсаторные и пьезоэлектрические, предлагают разные принципы работы и характеристики, которые можно выбрать в зависимости от конкретных требований БПЛА.
4. Проектирование механической и электрической структуры акселерометров требует учета множества факторов, таких как размеры, форма, материалы и соединения. Оптимальное проектирование позволяет достичь максимальной производительности и надежности акселерометров.
5. Интеграция акселерометров с другими компонентами БПЛА, такими как гироскопы и магнетометры, является важным аспектом создания инерциальной навигационной системы (ИНС). ИНС позволяет определить позицию, ориентацию и скорость БПЛА в реальном времени, что является ключевым элементом автономного функционирования БПЛА.

Взгляд в будущее показывает, что применение акселерометров на основе МЭМС в БПЛА будет продолжать развиваться. Их интеграция с другими датчиками и системами БПЛА будет становиться все более важной для достижения высокой стабильности, точности и автономности. Развитие беспилотной авиации и появление новых сценариев использования БПЛА будут диктовать новые вызовы и требования для акселерометров на основе МЭМС. Будущие исследования должны быть направлены на совершенствование технологий МЭМС, улучшение точности измерений, расширение диапазона измеряемых ускорений и разработку новых методов интеграции акселерометров в системы БПЛА.

Таким образом, акселерометры на основе МЭМС представляют значительный потенциал для применения в БПЛА. Их компактность, высокая точность измерений, устойчивость к вибрациям и широкий диапазон измеряемых ускорений делают их важным компонентом для навигации, стабилизации и контроля движения БПЛА. С постоянным развитием технологий и улучшением датчиков можно ожидать еще большего расширения возможностей акселерометров и их важной роли в развитии беспилотной авиации.

Литература

1. Долинчук, Л. Ф., Коновалов, В. М., Самородов, А. В., & Шматко, А. А. (2017). Микромеханический акселерометр на основе комбинированной силы Кориолиса и пьезорезистивного эффекта. Современные научные исследования и инновации, (9(1)), 22-29.

2. Пономарев, А. И., & Спицын, А. В. (2018). Разработка и исследование акселерометров на основе MEMS технологий. Молодой ученый, (4), 286-289.

3. Патент № 2765899 C1 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. Розин, В. М., Смирнов, А. В., & Чернышев, Ю. В. (2019). Анализ методов повышения точности пьезорезистивных акселерометров на основе MEMS технологий. Вестник Красноярского государственного аграрного университета, (2(42)), 84-89.

5. 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.

6. Гаврилюк, В. Г., Скрипалев, А. А., & Малышев, А. В. (2019). Анализ и выбор микромеханических акселерометров для применения в беспилотных летательных аппаратах. Вестник Балтийского государственного технического университета "Военмех" им. Д. Ф. Устинова, (4(146)), 143-150.

7. 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 UYKKGA.

8. Гриценко, Е. В., & Гришин, А. А. (2020). Методики расчета и моделирования микроэлектромеханических акселерометров. Известия вузов. Приборостроение, (63), 164-173.

9. 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.

10. Гончаров, В. В., & Чепыжов, Г. А. (2020). Разработка модели микроэлектромеханического акселерометра с использованием метода конечных элементов. Известия вузов. Приборостроение, (63), 112-121.

11. Дризе, А. Д. Электродинамическое моделирование селекторов поляризаций 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.

12. Матвеев, С. В., & Королев, А. В. (2017). Технологии создания микроэлектромеханических акселерометров. Электроника: научно-технический журнал, (3), 20-26.

13. Климов, К. Н. Особенности численного электродинамического моделирования антенного полотна с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // 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. 178-183. – EDN UGCHDM.

14. Рубанов, А. А., Жижин, К. Ю., & Зорин, В. А. (2020). Математическое моделирование акселерометра на основе микроэлектромеханической системы. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика, (2), 18-25.

15. Климов, К. Н. Численное электродинамическое моделирование вибратора с наклонными плечами в канале Флоке с использованием импедансносогласованного материала / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 2(30). – С. 39-46. – EDN UJIVJD.

16. Соловьев, А. А., & Гуль, Н. А. (2018). Применение методов моделирования и расчета в задачах проектирования микроэлектромеханических акселерометров. Инженерные науки в Сибири, (2), 48-55.

17. Патент № 2766132 C1 Российская Федерация, МПК H01Q 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.

18. Cheng, H., & Xu, Y. (2015). MEMS accelerometer for aerospace applications: A review. Sensors and Actuators A: Physical, 233, 347-366.

19. Mishra, S., & Patil, S. (2018). MEMS accelerometer design for low power and high precision applications: A review. Journal of Low Power Electronics and Applications, 8(2), 17.

20. Lee, J., & Kim, Y. (2017). MEMS accelerometer designs for harsh environments. Micromachines, 8(8), 229.

21. Климов, К. Н. Электродинамическое моделирование волноводной приёмной антенны с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 1(29). – С. 61-68. – EDN XOUOOM.

22. 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.

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В УСЛОВИЯХ УМНОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ирзаев Г.Х.
Дагестанский государственный технический университет

Аннотация. Рассмотрены вопросы обеспечения технического сервиса и поддержки умных сборочно-монтажных линий, автоматизированных систем контроля и тестирования радиоэлектронного производства. Предложена концепция обеспечения технического сервиса с применением технологий цифровых двойников, анализа больших данных и предиктивного обслуживания для уменьшения временных и материальных затрат на работы по ремонту и обслуживанию оборудования с учетом повышения эффекта от цифровой трансформации промышленного предприятия радиоэлектроники.

Ключевые слова: технический сервис, умное радиоэлектронное производство; цифровой двойник, предиктивное обслуживание, оборудование, IoT-платформа.

Building a digital technical service under the conditions of smart radio electronic production. G.Kh. Irzaev, Daghestan State Technical University

The issues of providing technical service and support for smart assembly lines, automated control systems and testing of radio-electronic production are considered. The concept of providing technical service using digital twin technologies, big data analysis and predictive maintenance is proposed to reduce the time and material costs for repair and maintenance of equipment, taking into account the increase in the effect of the digital transformation of an industrial enterprise of radio electronics.

Keywords: technical service; smart radio-electronic production; digital twin; predictive maintenance; equipment; IoT platform.

Сегодня развитие отечественной радиоэлектронной промышленности характеризуется новыми вызовами: влияние санкционного давления на все составляющие производственных процессов предприятия, освоение новых сложных изделий в рамках импортозамещения, в том числе гражданского сектора потребления, повышение серийности и доли отечественной продукции в закупках государственных заказчиков. Новый уровень организации производственных процессов и управления формированием стоимости на всех этапах жизненного цикла радиоэлектронных изделий задается концепцией умного производства (Индустрия 4.0). В последнее время в радиоэлектронном производстве удается обеспечить высокую эффективность за счет использования искусственного интеллекта, машинного обучения и киберфизических систем, облачных вычислений и передачи больших данных, аддитивных технологий, формирования сетевого взаимодействия партнеров, Интернета вещей и внедрения цифровых бизнес-моделей.

Одной из важнейших составных частей цифрового производства радиоэлектронного предприятия является комплекс технологического оборудования, программных и технических средств мониторинга, который позволяет при минимальном участии человека исключать потери и простои умных линий из-за возникающих дефектов и человеческого влияния. Система контроля прослеживает качество продукции и размер отходов производства, ведет учет работы оборудования, извещая оператора об основных параметрах процессов и корректировках через мобильные устройства. Вопросы обеспечения технического сервиса и поддержки умных сборочно-монтажных линий, автоматизированных систем контроля и тестирования, установок выходят на первый план. Грамотное своевременное обслуживание и эксплуатация производственных мощностей, поддержание их в работоспособном состоянии и наладка технических параметров становится для владельцев трудновыполнимой задачей. В этих условиях возрастает роль сервиса специализированными предприятиями либо поставщиками умного оборудования. Классические модели построения технического сервиса в условиях четвертой промышленной революции требуют совершенствования с учетом мультипликативного воздействия на всю отрасль радиоэлектроники.

В статье ставится цель разработки концепции обеспечения технического сервиса для уменьшения временных и материальных затрат на работы по ремонту и обслуживанию оборудования с учетом повышения эффекта от цифровой трансформации промышленного предприятия радиоэлектроники.

В последнее время находит распространение более эффективная форма технического сервиса в радиоэлектронной промышленности, когда компании-поставщики сложного умного оборудования, технологических линий и установок не только внедряют на предприятии требуемые аппаратно-технологические и программные решения под ключ, но и берут на себя дальнейшее комплексное решение проблем последующего технического обслуживания и ремонта оборудования, обеспечения поставок запасных частей, консультирования и подготовки специалистов. Такая система названа в статье [1] «продуктово-сервисной системой, которая приносит заказчику не набор требуемого оборудования и услуг, а достижение желаемого результата, например, производство определённого вида изделий с гарантированным качеством, производительностью, по требуемой технологии и с чётко прогнозируемым временем простоя».

Для более эффективной реализации технического сервиса умного производства целесообразно применение технологий цифровых двойников, анализа больших данных и предиктивного обслуживания.

Сценарий применения цифровых двойников (Digital Twin) для получения преимуществ при реализации технического сервиса на предприятиях радиоэлектроники требует разработки методических подходов построения заказа запасных частей и комплектующих, технического обслуживания и ремонта оборудования и других сервисных процессов [2, 3]. Внедрение Digital Twin в сервис может помочь решить проблемы ремонта и обслуживания техники благодаря использованию ремонта и обслуживания по значимым признакам и отклонениям в состоянии оборудования (предиктивное обслуживание). Создание удаленных диагностических систем с возможностями самообучения при помощи алгоритмов, устанавливающих связи между состояниями системы и диагностируемыми параметрами в режиме реального времени, позволяет решать задачи прогнозирования ресурсов надежности и долговечности оборудования и машин [4, 5].

Планово-предупредительное обслуживание по регламенту, обслуживание по состоянию, предиктивное обслуживание, требующие регулярного мониторинга непрерывных технологических процессов без их остановки, и раньше комбинировалось на предприятиях отрасли, однако сегодня в условиях умных производств это новый этап развития технического сервиса. Это программные или программно-аппаратные комплексы для обработки больших данных, собранных в режиме реального времени с помощью современных IT-технологий и нахождения скрытых взаимосвязей между множеством измеряемых параметров. Таким образом она выявляет аномалии и их причины, а также прогнозирует время до отказа.

В условиях цифрового производства в силу специфических особенностей конструкции и условий эксплуатации оборудования есть опасность преждевременного выхода из строя либо неправильного расчета плановых сроков обслуживания и ремонта, когда оборудование выводится в ремонт, когда ресурс надежности и долговечности еще не исчерпан. Чтобы минимизировать риск внезапных поломок и сократить расходы на обслуживание большой номенклатуры оборудования и техники, используют предиктивное обслуживание оборудования и использование цифровых двойников этого оборудования. Датчики, установленные на оборудовании предприятия, собирают разнообразные параметры объекта, передают их цифровой копии, которая находится в службе технического сервиса (рисунок). На компьютере специалиста отображается визуальная информация и 3D-модель установки, он контролирует параметры удаленно, не выезжая на место.

Стационарные и мобильные средства контроля и диагностирования позволяют в непрерывном режиме осуществлять мониторинг технического состояния оборудования. Обобщенная структура архитектуры построения представляет собой 5 уровней системы управления: уровень станочного оборудования и установок, представленный датчиками, серводвигателями сенсорами, уровень систем числового программного управления и контроллеров, систем управления роботами, уровень промышленных протоколов связи CAN, EtherCAT, Sercos III, уровень программных компонентов и уровень управления предприятием, представленный OLAP или SCADA-системами [6]. Съем информации с умных датчиков и сенсоров происходит дистанционно. Аномальные отклонения в режимах работы и дефекты выявляются на ранних стадиях, прогнозируются состояние оборудования путем использования цифровых двойников, выявляются причины и локализация дефектов, принимаются меры для их устранения. Применение моделей цифровых двойников позволит не только оценивать уже произошедшие в автоматических системах события, но и объективно прогнозировать поведение отдельных функциональных узлов оборудования с дальнейшей их оптимизацией.

Для запуска такой системы необходимо правильно разместить датчики и сенсоры в ключевых точках оборудования, наладить систему сбора и обработки информации, машинного обучения, предсказания и предупреждения о неисправностях. Имеются готовые программные IoT-платформы (Internet of Things) различных производителей, которые можно интегрировать с технологическими

решениями и встраивать в производственные процессы радиоэлектронного предприятия. Некоторые сбои можно устранять удаленно, обновляя программное обеспечение оборудования.

Благодаря данным, полученным от цифрового двойника, можно планировать техническое обслуживание и заранее менять функциональные узлы, комплектующие и радиоэлементы, которые предположительно могут выйти из строя. Digital Twin позволяет благодаря анализу больших массивов статистических данных прогнозировать поломки и износ оборудования, планировать поставки запасных частей и виды проводимых работ.

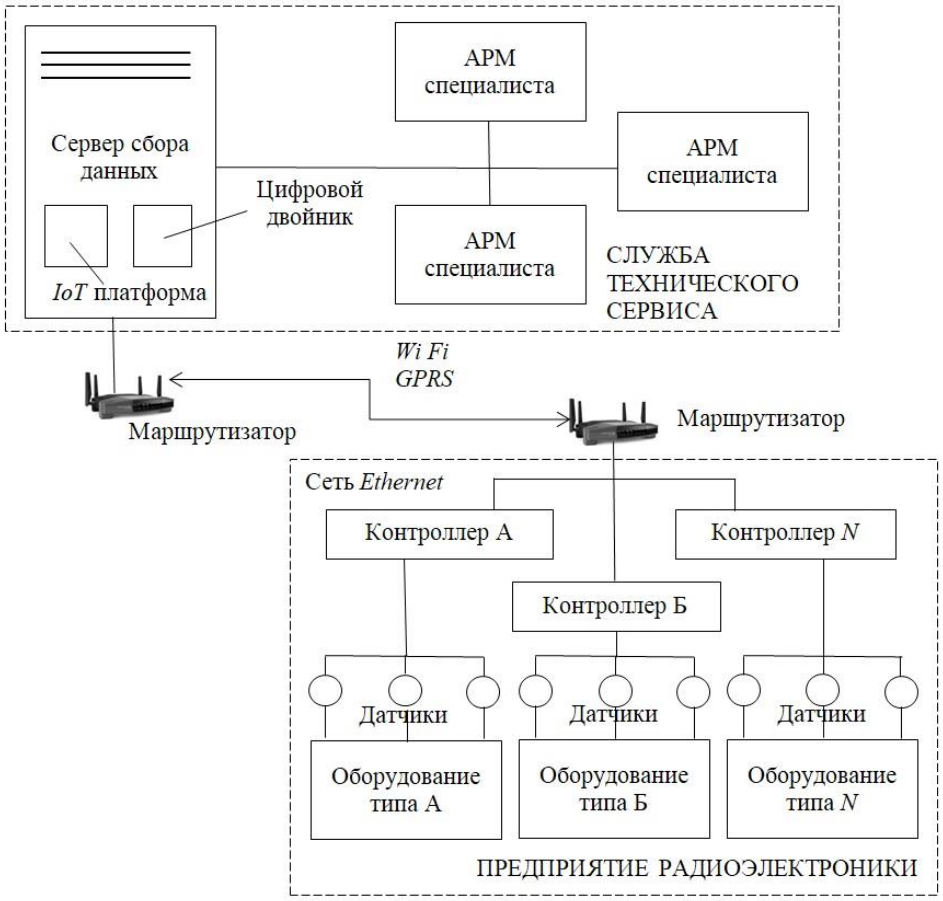


Рисунок – Система предиктивного обслуживания умного оборудования

Становятся настоятельной необходимостью при организации умного радиоэлектронного производства он-лайн консультации заказчиков со стороны служб поддержки и технического обслуживания. В этой услуге большая часть вопросов снимается в удаленном формате. Техническая поддержка и консультирование, в том числе по технологическим вопросам умного производства должны включаться как составная часть в договоры по сервисным услугам как часть комплексного решения. Правильно разработанная продуктово-сервисная система приносит заказчику не набор требуемого оборудования и услуг, а достижение желаемого результата, например, производство определённого вида изделий с гарантированным качеством, производительностью, по требуемой технологии и с чётко прогнозируемым временем простоя [1, 7].

Технические решения, призванные предоставлять надежные и быстрые коммуникационные связи между поставщиком сервисных услуг и предприятием радиоэлектроники, имеют важную роль. С учетом развитости разнообразных каналов связи поставщик должен использовать и развивать альтернативные варианты. Так, заказчику можно предложить взаимодействие по телефону, мобильные сервисные приложения, электронной почте, через аккаунты социальных сетей и веб-сайты. В то же время у сервисной организации должны быть CRM-приложения, обрабатывающие и упорядочивающие входной поток данных, распределяющие его по исполнителям.

Таким образом, в условиях 4-й промышленной революции на радиоэлектронных предприятиях прослеживается общая тенденция в виде повсеместного внедрения информационных технологий и «Интернета вещей» не только в производственные процессы, но и в сервис и техническое обслуживание оборудования. На рынке сервисных услуг конкурентные преимущества могут получить те организации, которые смогут не только удовлетворить все текущие и будущие потребности клиента, но и предлагать

перспективные решения по совершенствованию и развитию производств, новую сервисную модель. Она базируется на продуктово-сервисной системе. Объектом продажи и потребления в такой модели становится не только и не столько сам продукт, сколько услуги, оказываемые пользователю в связи с этим продуктом. Оборудование, персонал, производство, контрагенты, обслуживающие организации и средства коммуникации между ними превращаются в единый комплекс. Чтобы отслеживать надежность работы и технические параметры оборудования, линий и установок, предупреждать сбои и разрывы в технологии, используется предиктивное обслуживание и прогнозирование на основе анализа больших данных. Не дожидаясь внештатных ситуаций, планируется доставка запчастей и радиокомпонентов.

Литература

1. Соломатин А. «Индустрия 4.0» и современный сервис: особенности и тенденции // Электроника: наука, технология, бизнес. 2020. № 3 (194). С. 90-93.

2. Пудовкина О.Е., Балашова Е.А., Бобков Е.О. Методический подход к созданию представлений цифрового двойника в рамках концепции «цифрового производства» // Отходы и ресурсы. 2022. Т.9, № 1. URL: https://mir-nauki.com/PDF/12ITOR122.pdf.

3. Гарина И.О. Методический подход к внедрению технологий агрегатированных цифровых двойников в процессы производства машин арктического назначения // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 9. С. 47-55.

4. Баурова Н.И., Зорин В.А., Приходько В.М. Информационная модель состояния технической системы // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2017. № 6. С. 11-16.

5. Пегачков А.А. Прогнозирование ресурса и оценка технического состояния двигателей на основе параметров, отслеживаемых системой удаленного диагностирования // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. № 9. С. 27-31.

6. Мартинова Л.И., Никич А.Н. Модели и инструментальные средства сбора и обработки информации о работе технологического оборудования // Вестник МГТУ «Станкин». 2019. № 3 (50). С. 103-107.

7. Илькевич С.В. Стратегия цифровой трансформации промышленных предприятий: эффекты внедрения технологий умного производства // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2022. Т.13, № 3. С. 210–225.

ПРИМЕНЕНИЕ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON ДЛЯ ОБРАБОТКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ В РАМКАХ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ИЗДЕЛИЙ

Азаренков М.И.
НИУ МАИ

Рассмотрено применение библиотек Python для обработки и визуализации данных, передаваемых по телеметрическим каналам, а также полученных в результате теоретических расчетов показателей надежности, в рамках технологии информационной логистической поддержки изделий (транспортных средств и базирующихся на них сложных электромеханических изделий).

Ключевые слова: информационная логистическая поддержка, телеметрические данные, статистические данные, библиотеки Python.

Application of the Python programming language for processing statistical data within the framework of the technology of information logistics support of products. Azarenkov M. I., MAI.

The use of Python libraries for processing and visualizing statistical data transmitted via telemetry channels from various sensors is considered within the framework of the technology of information logistics support of products (hardware and complex electromechanical products based on them).

Keywords: information logistics support, telemetry data, statistical data, Python libraries

Введение

Информационная логистическая поддержка является ключевой технологией в современных производственных процессах [1]. Высокая конкуренция на мировом рынке требует применения современных технологий, в том числе и информационных. Такие промышленные технологии включают в себя технологии создания, обработки, передачи и хранения данных и информации о промышленной продукции и методах ее разработки, испытаний и производства, которые могут дополнять или даже частично заменить традиционные трудоемкие, длительные и дорогостоящие этапы различных видов работ на всех стадиях жизненного цикла изделия. Таким образом, для успешного конкурирования на мировом и внутреннем рынке необходимо вносить коррективы в существующие бизнес-процессы, и, в частности,

использовать передовые компьютерные и цифровые технологии, повышающие надежность изделия, предсказуемость отказов и повышения времени безотказной работы [2].

Постановка задачи

Длительность основных этапов жизненного цикла изделия (ЖЦИ) представлена на рисунке 1 [1].

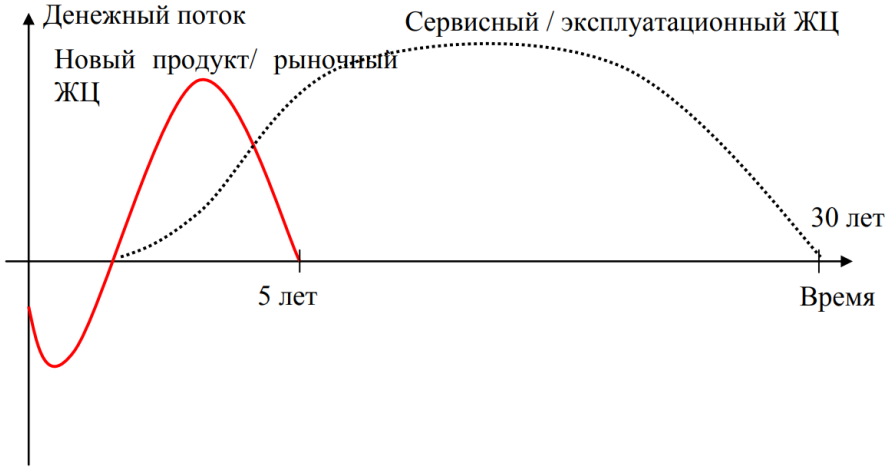


Рисунок 1 – Сравнительный ЖЦИ нового продукта (красная сплошная линия) и сервисного ЖЦИ (черная пунктирная)

Таким образом, можно заметить, что большая часть ЖЦИ приходится на период эксплуатации изделия. Этот период включает в себя техническое обслуживание и ремонт эксплуатируемого изделия. Для повышения срока службы изделия, увеличения срока его безотказной работы при разработке изделия большое внимание уделяется вопросам надежности [3]. От надежности непосредственно зависят такие показатели, как безопасность, риск, живучесть, качество и другие характеристики. Надежность технических систем, а в частности, сложных электромеханических изделий, должна быть обеспечена на всех этапах ЖЦИ, а именно, при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Одним из важнейших показателей надежности, как известно, является величина интенсивности отказов λ(t). Опыт эксплуатации сложных систем показывает, что интенсивность отказов большинства изделий описывается U-образной кривой [4] (рисунок 2).

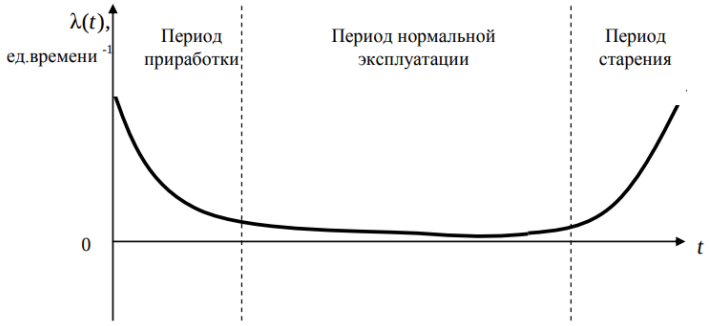


Рисунок 2 - Вид кривой интенсивности отказов

В настоящее время большое внимание уделяется задаче поддержания изделия в работоспособном состоянии максимально возможное время и сокращения времени на ремонт изделия. Одной из центральных проблем при проектировании, производстве и эксплуатации автоматизированных систем обработки информации управления (АСОИУ) является проблема обеспечения надежности [5].

Одной из методик решения этой задачи является прогнозирование и оценка возможных отказов изделия, основанная, в свою очередь на анализе данных об отказах узлов изделия, полученных в процессе эксплуатации. Для получения такой информации используются различные способы, которые, в целом, можно разделить на три большие группы:

- теоретические расчеты надежности;
- анализ данных, порученных при наработке на отказ в процессе испытания изделия;
- сбор и анализ данных об отказах изделия в процессе эксплуатации.

Для первой группы, в основном, актуальной задачей является задача визуализации и документирования полученных данных. Для последних двух групп информацию получают в виде некоторого массива неструктурированных данных, который в дальнейшем подвергается различным видам

обработки. Информация с телеметрических датчиков является одним из основных каналов получения таких данных, а задача автоматической обработки и структурирования этих данных, а также задача разработки и внедрения АСОИУ является одной из основных задач [6]. Основными операциями обработки информации в АСОИУ являются:

1. отбор и сепарация передаваемой и переданной информации;
2. устранение недостоверных данных - артефактов (фильтрация ошибок измерений)
3. интеллектуальное сжатие (устранение избыточности) телеметрических данных;
4. расшифровка отобранных сведений;
5. формирование отчетных сведений, подготовка и передача структурированных, очищенных от артефактов данных.

Обработка телеметрической информации, а также информации, полученной из теоретических расчетов и других различных сведений, подразделяются на начальную и углубленную обработку [7]. Начальная (поверхностная) обработка состоит в структурировании, очистке и подготовке данных для углубленной обработки.

Углубленная оперативная обработка производится с целью решения трех основных задач:

1. определения работоспособности систем и изделия в целом;
2. определения и локализации неисправностей в узалх и агрегатах, а также в системе в целом;
3. прогноза состояния изделия на заданном интервале времени.

Предлагаемое решение

Таким образом, на различных этапах обработки данных должна проводиться работа с большим объемом разнородных данных. Такие задачи решаются при помощи методов статистики и науки о данных (Data Science, DS), а также машинного обучение (Machine Learning, ML). Одним из наиболее часто используемых инструментов для этих задач является язык программирования Python и различные подключаемые библиотеки (пакеты) [8].

В частности, наиболее используемыми при решении подобных задач являются следующие пакеты: NumPy, SciPy, Pandas, StatsModels, Matplotlib, Seaborn, Plotly, Bokeh, Scikit-Learn, Keras.

NumPy - это один из самых широко используемых Python-пакетов, это проект с открытым исходным кодом, который позволяет выполнять численные вычисления с помощью Python [9]. В нем реализованы различные вычислительные механизмы и работа с атомарными и сложными данными, статистика и моделирование.

Pandas - библиотека для анализа данных, используется для преобразования, очистки, структурирования, визуализации, библиотека также оптимизирована для высокой производительности [10].

Statsmodels - это модуль Python, содержащий функции для работы с различными статистическими моделями [11].

Plotly - библиотека для визуализации данных, с помощью Plotly можно как изучать какие-то данные «на лету», так и построить полноценный интерактивный отчёт. Графическая библиотека Plotly на Python создает интерактивные графики публикационного качества. Используется для создания линейных графиков, точечных диаграмм, площадных диаграмм, столбчатых диаграмм, полос ошибок, прямоугольных графиков, гистограмм, тепловых карт, подзаголовков, многоосевых, полярных и пузырьковых диаграмм. [12].

Matplotlib - это комплексная библиотека для создания статических, анимированных и интерактивных визуализацией на Python [13]. Включает в себя множество различных пакетов, позволяющих создавать комплексные графики и интерактивные отчеты.

Seaborn - это библиотека Python, созданная на базе Matplotlib, с доступом к прямым API специализированной статистической визуализации, являющаяся предпочитаемой среди специалистов по работе с данными [14].

SciPy - это пакет для различных вычислений, построенный на основе NumPy и математических алгоритмах, в том числе включая оптимизацию и специальные математические функции, а также приближенные вычисления.

Таким образом, можно выстроить следующий обобщенный алгоритм обработки данных на основе использования Python:

1. Для теоретического расчета различных показателей при помощи аналитических или численных методов - библиотека SciPy.
2. Для расчета статистических показателей - библиотека Statsmodels
3. Для структурирования исходных телеметрических (либо измеренных) данных - библиотеки NumPy и Pandas.
4. Для визуализации обработанных данных - библиотеки Matplotlib и Seaborn.

В качестве иллюстрации обобщенного алгоритма приведем простой пример расчета показателей надежности работы изделия (технического объекта).

Предположим, что в результате приведения испытаний в течение 800 часов полупроводниковых диодов в количестве $N_0 = 100$ были получены следующие данные об отказах (таблица 1).

Таблица 1

Интервал, час	0–100	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600	600–700	700
Количество отказавших элементов $n(t,t+\Delta t)$	1	2	1	3	2	2	1	

Вычислим показатели надежности: вероятность безотказной работы $P(t)$, среднее время безотказной работы T_1, интенсивность отказов $\lambda(t)$, частоту отказов $f(t)$. Для упрощения задачи будем считать, что настоящий момент времени отказа достоверно неизвестен и для примера примем, что все отказы происходят в середине временного интервала.

Так как исходные данные для расчета представлены в виде таблицы, хранение этих данных для обработки и последующей визуализации реализуем при помощи pandas.DataFrame. Основные статистические величины вычислим при помощи библиотеки SciPy. В таблице 2 приведены результаты расчетов. Рассчитанные таким способом значения в данном примере можно легко проверить при помощи вычисления аналитическим способом по формулам теории вероятности [3].

Таблица 2

Интервал, час	0–100	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600	600–700	700
$P(t)$	0,99	0,97	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	
$f(t)*10^{-4}$, ч$^{-1}$	1	2	1	3	2	2	1	
$\lambda(t)*10^{-4}$, ч$^{-1}$	1,01	2,03	1,04	3,17	2,20	2,22	1,12	

Среднее время безотказной работы $T_1 = 437$ часов.

Построим пузырьковую диаграмму для визуализации количества отказов в зависимости от интервала времени (рисунок 3) и гистограмму интенсивность отказов $\lambda(t)$ - частота отказов $f(t)$ (рисунок 4).

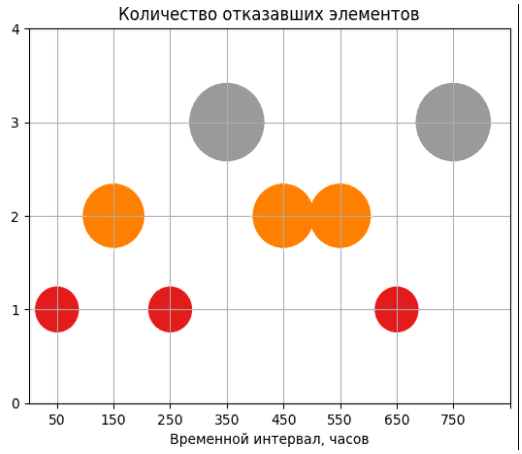


Рисунок 3 - Количество отказов в интервал времени

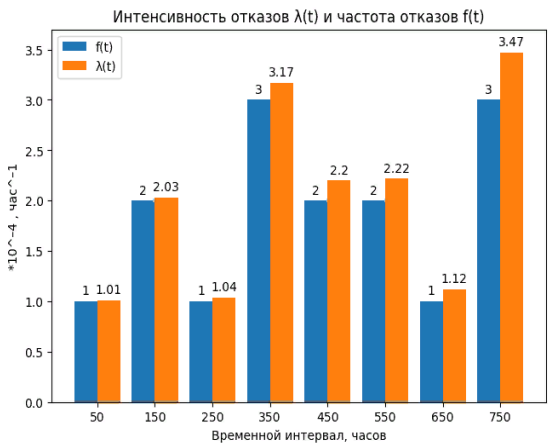


Рисунок 4 - Интенсивность отказов λ(t) и частота отказов f(t)

Для более сложных задач, исходные данные для которых получены, к примеру, как массив телеметрических данных, к примеру, можно построить диаграммы различной сложности. Например, на рисунке 5 и 6 приведена статистика отказов за год по некоторому количеству сложных составных изделий.

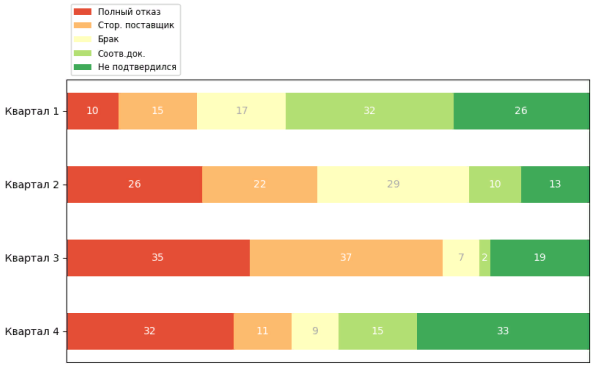


Рисунок 5 - Годовая статистика отказов поквартально

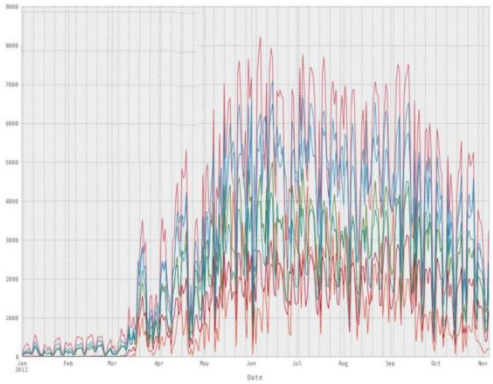


Рисунок 6 - Годовая статистика отказов

Заключение

В работе предложен рассмотрены задачи обработки данных и рассмотрены основные библиотеки Python для решения поставленных задач. Приведен обобщенный алгоритм решения задачи в целом, рассмотрен иллюстрирующий пример. Таким образом можно сделать вывод, что с помощью указанных инструментов на базе Python можно разработать АСОИУ (с обработкой всех входных избыточных данных, от момента поступления их в систему до получения рекомендаций по улучшению всего бизнес-процесса). Также немаловажно, что все применяемые инструменты разработаны на едином языке программирования, что позволит избежать проблем совместимости разработанных модулей АСОИУ.

Литература

1. Доросинский Л.Г., Зверева О.М. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. – Ульяновск: Зебра, 2016. – 243 с.
2. Сергеев В.Е., Судов Е.В. Интергрированна логистическая поддержка наукоемких изделий. Концепция. М.:-2002
3. Половко А.М. Основы теории надежности: практикум / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ–Петербург, 2006. – 560 с
4. Основы теории надежности электромеханических комплексов: учебное пособие / П.П. Павлов, Р.С. Литвиненко. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017. – 92 с
5. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов : учеб. пособие / Г.Н. Черкесов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
6. Кузин В. А., Атаманчук Ю. И., Кравчук Н. В., Шибанов А. П., Шибанов В. А. Автоматизированный комплекс обработки телеметрической информации // Вестник СГАУ. 2003. №1
7. Бондаренко, Д. М. Анализ особенностей процессов формирования, передачи, обработки и анализа поступающей с космического аппарата телеметрической информации / Д. М. Бондаренко. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 8 (403). — С. 1-4.
8. Vijay Singh Khatri. Python Packages for Data Science. Jun. 17, 20. Интернет-ресурс https://dzone.com/articles/python-packages-for-data-science
9. Интернет-ресурс: https://numpy.org/about/
10. Интернет-ресурс: https://pandas.pydata.org/about/
11. Интернет-ресурс: https://www.statsmodels.org/stable/index.html
12. Интернет-ресурс: https://plotly.com/python/
13. Интернет-ресурс: https://matplotlib.org/
14. Интернет-ресурс: https://seaborn.pydata.org/
15. 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.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ПОЗВОЛЯЮЩАЯ УТОЧНЯТЬ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕЛИ

Карпухин С.А.
ПАО «НПО «Алмаз»
Россия, г. Москва
SKarpukhin@inbox.ru

В настоящий момент существует необходимость в создании средств обзора пространства, позволяющих распознавать цели различной формы. Эту задачу с успехом решают радиолокационные системы (далее РЛС) с фазированными антенными решетками (далее ФАР) и с цифровыми антенными решетками (далее ЦАР). В современных РЛС начинают применяться цифровые методы зондирующего сигнала, что позволяет расширить возможности РЛС. Цифровые методы используются при управлении диаграммой направленности (далее ДН) и корректировки ошибок ФАР. Цифровое диаграммообразование является одним из способов решения этих задач и подразумевает под собой цифровое синтезирование ДН на этапе приема сигнала, а также формирования закона распределения электромагнитного поля в апертуре ФАР в режиме передачи. Применение цифрового диаграммообразования подразумевает под собой применение цифровых приемников по одному на каждый излучатель. С помощью такой антенны может быть сформировано несколько лучей в разных направлениях обзора, которые будут иметь независимый характер. Благодаря применению цифрового диаграммообразования происходит рост рабочего диапазона приемных устройств. При сложении сигналов дисперсия растет пропорционально числу каналов ФАР.

Статья посвящена методам обработки входных данных РЛС, позволяющим уточнять переменные, используемых при расчете траектории цели и области встречи ракеты с целью. В статье предложен алгоритм модели, позволяющий реализовывать алгоритм усреднения, полученных данных и сравнивающая усредненные данные с данными полученными от РЛС. Данная модель позволяет точнее определять вероятную область встречи ракеты с целью.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, математическая модель, оптимизация данных, вектор скорости, скалярная скорость, азимут, угол места, цифровая обработка

Mathematical model allowing to refine target characteristics. Karpukhin St. A., Scientific and production association "Almaz".

At the present time there is a need to create means of space surveillance, allowing to recognize targets of different shapes. This task is successfully solved by radar systems (hereinafter radars) with phased antenna arrays (hereinafter PHAR) and with digital antenna arrays (hereinafter DAR). Modern radars are beginning to use digital sensing methods to enhance radar capabilities. Digital methods are used in directional pattern control (hereinafter referred to as DN) and error correction of the phar. Digital diagram making is one of the ways to solve these problems and involves digital synthesis of the DN at the stage of signal reception, as well as the formation of the law of electromagnetic field distribution in the aperture of the phased antenna in the transmission mode. Application of digital diagram formation implies the use of digital receivers, one for each radiator. With such an antenna can be formed several beams in different directions of view, which will have an independent character. Due to the use of digital pattern formation, the working range of the receivers is increased. When the signals are added, the dispersion increases in proportion to the number of PHAR channels.

The article deals with radar input data processing methods that make it possible to refine the variables used in calculating the target trajectory and the missile-target rendezvous area. The article proposes a model algorithm that makes it possible to implement an algorithm for averaging the received data and comparing the averaged data with the data received from the radar. This model makes it possible to more accurately determine the likely rendezvous area of the missile with the target.

Keywords: phased antenna array, mathematical model, data optimization, velocity vector, scalar velocity, azimuth, elevation angle, digital processing

Введение

Необходимость существенного улучшения параметров радиотехнических систем или создание новых перспективных летательных аппаратов зачастую диктует требования к антенным характеристикам, не выполнимые при традиционном подходе к решению задач [2, с.8]. В основу функционирования интеллектуальных антенн положена способность цифровых антенных решеток формировать диаграмму направленности, адаптированную к помеховой обстановке [3, с.141]. Цифровой антенной решеткой называют решетку в которой принимаемые сигналы оцифровываются непосредственно на выходе каждого антенного элемента [8, с.9]. Формирование ДН осуществляется в цифровом виде без изменения фаз в приемном тракте. Большинство параметров принимаемого сигнала априори неизвестны, потому при обнаружении приходится осуществлять поиск нужного параметра радиосигнала, отличающего его от сопутствующих шумов и помех [1, с.11]. Принятый в приемном тракте аналоговый сигнал преобразуется в цифровой, и строится ДН с помощью процессора. На рис.1 представлена упрощенная структурная схема приемной части РЛС с цифровыми антенными решетками (далее ЦАР). Выходные сигналы приемных модулей (далее ПМ) преобразуются в цифровую форму непосредственно на (на промежуточной частоте) или в квадратурных каналах с использованием фазового детектирования. Оцифрованные сигналы параллельно поступают на вход цифрового вычислительного комплекса (специализированной ЭВМ), который решает все задачи обработки информации, полученной с помощью системы рецепторов,

объединенных в антенную решетку [8, с.9].

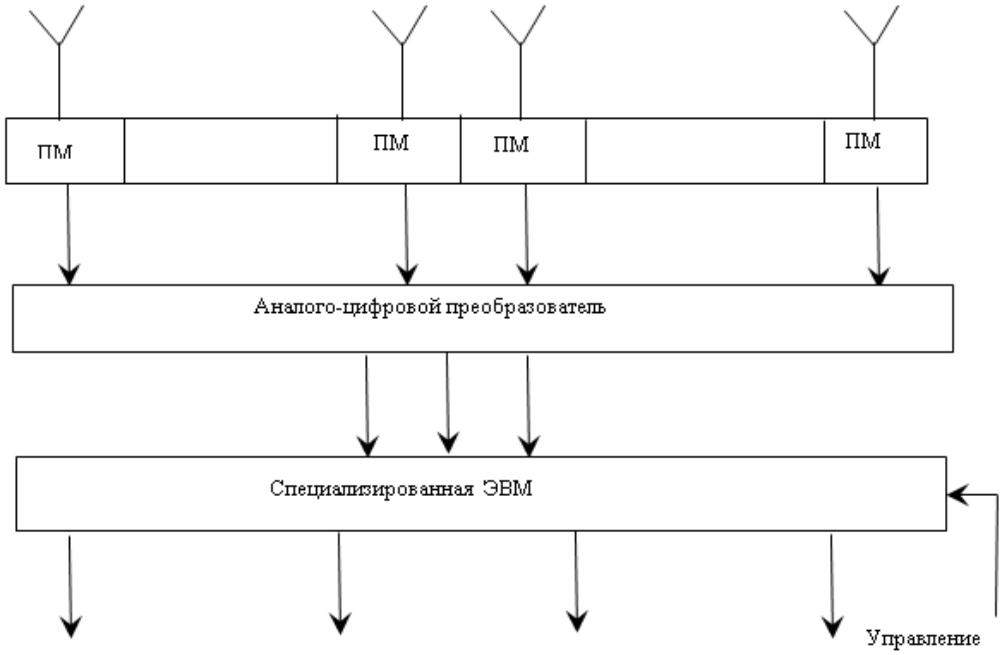


Рисунок 1- Упрощенная структурная схема приемной части РЛС с ЦАР

Аналого-цифровое устройство включает в себя:

1. Блок предохранителей проводящего тракта, который не позволяет перегрузить канал приемы высоким уровнем сигнала.
2. Усилитель, который увеличивает порог амплитуды до требуемого уровня для последующей оцифровки.
3. Преобразователь, который преобразует аналоговый сигнал в цифровой.

Решение задач цифровой обработки информации предполагает предварительное построение и обоснование соответствующих математических моделей входных обрабатываемых сигналов и способов их обработки [8, с. 15].

Важнейшим для радиолокации свойством электромагнитных волн является их рассеяние при падении на объекты [6, с. 11]. В современных РЛС, вся обработка радиолокационной информации подразделяется на три этапа:

1. Первичная обработка – обнаружение сигнала цели и измерение ее координат с большой погрешностью.
2. Вторичная обработка – определение параметров траектории каждой цели по сигналам одной, включая операции отождествления отметок целей.
3. Третичная обработка – объединение параметров траекторий целей, полученных различными приемными устройствами.

Любая цель, будучи облученной радиолокатором, становится источником вторичного излучения [5, с. 11].

На этапе первичной обработки цель обнаруживают и определяют ее координаты. Сигнал, поступающий на вход приемного устройства, прежде чем попасть на вход канала обнаружения, подвергается усилению и фильтрации [9, с.19]. Первичная обработка осуществляется по одной, но чаще по нескольким смежным разверткам дальности. Этого хватает для обнаружения цели и определения ее координат. Таким образом, первичной обработкой называется обработка информации за один период обзора РЛС. В состав первичной обработки включают:

- обнаружение полезного сигнала в шумах;
- определение координат цели;
- кодирование координат цели;
- присвоение номеров целям.

Вторичная обработка включает в себя следующие операции:

- определение параметров движения целей (курс, скорость, ускорение и т.д.) по данным,

полученным за несколько обзоров РЛС;

- выделение области пространства, в которой с некоторой вероятностью ожидается появление отметки в следующем обзоре (экстраполяция отметок);
- сравнение экстраполированных координат с вновь полученными и привязка новой отметки к траектории цели (продолжение траектории).

Главной задачей третичной обработки является решение вопроса – сколько целей находится в зоне ответственности. Для решения этой задачи необходимо выполнить следующие операции:

- произвести сбор донесений от источников;
- привести отметки к единой системе координат и к единому времени отсчета;
- установить принадлежность отметок к целям, т. е. решить задачу отождествления отметок;
- выполнить укрупнение информации.

В предлагаемом алгоритме во время вторичной обработки сравнение будет производится не только по координатам цели, но и по скорости цели.

При объединении радиосигналов на совместную обработку передается вся совокупность сигналов, внешних помех и собственных шумов [10, с. 12].

Расширение и усложнение задач, решаемых современной радиоэлектроникой, стимулировали в последние десятилетия интенсивное развитие теории и техники антенн.

Постановка задачи

Требуется разработка алгоритма математической модели, позволяющей определять характер маневрирования цели, а также определять зоны поражения или области вероятной встречи зенитной управляемой ракетой (далее ЗУР) с целью, с использованием метода усреднения полученных данных и их последующего сравнения с данными, полученными от РЛС

Решение задачи

Алгоритмизация процессов обработки производится на начальной стадии проектирования системы обработки радиолокационной информации [7, с.10]. Допустим приемная антенна представляет собой решетку из N элементов, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Большое количество элементов дает возможность сгенерировать главный лепесток ДН узким, что обеспечивает необходимую точность пеленга. В процессе расчета будем использовать сферическую систему координат (Рис.2).

На рис. 2 представлено движение цели, находящейся в точке N с координатами X_N, Y_N, Z_N к точке О в которой находится РЛС. Вектор скорости цели имеет направление, совпадающее с положением главного луча в пространстве. Угол φ – азимут, ϑ – угол места; V_Σ - скорость движения цели к точке О; V_1, V_2, – вертикальная и горизонтальная составляющие скорости V_Σ.

Модель эффективности отражения налета является определяющей при сравнении альтернативных вариантов технических средств обороны [4, с. 140].

Проекция дальности определяется по формуле:

$$ON_0 = \frac{Z_N}{\cos\varphi} \tag{1}$$

Дальность определяется по формуле:

$$ON = \frac{Z_N}{\cos\varphi\cos\vartheta} \tag{2}$$

Скорость движения цели определяется векторным выражением:

$$\overrightarrow{V_\Sigma} = \overrightarrow{V_1} + \overrightarrow{V_2} \tag{3}$$

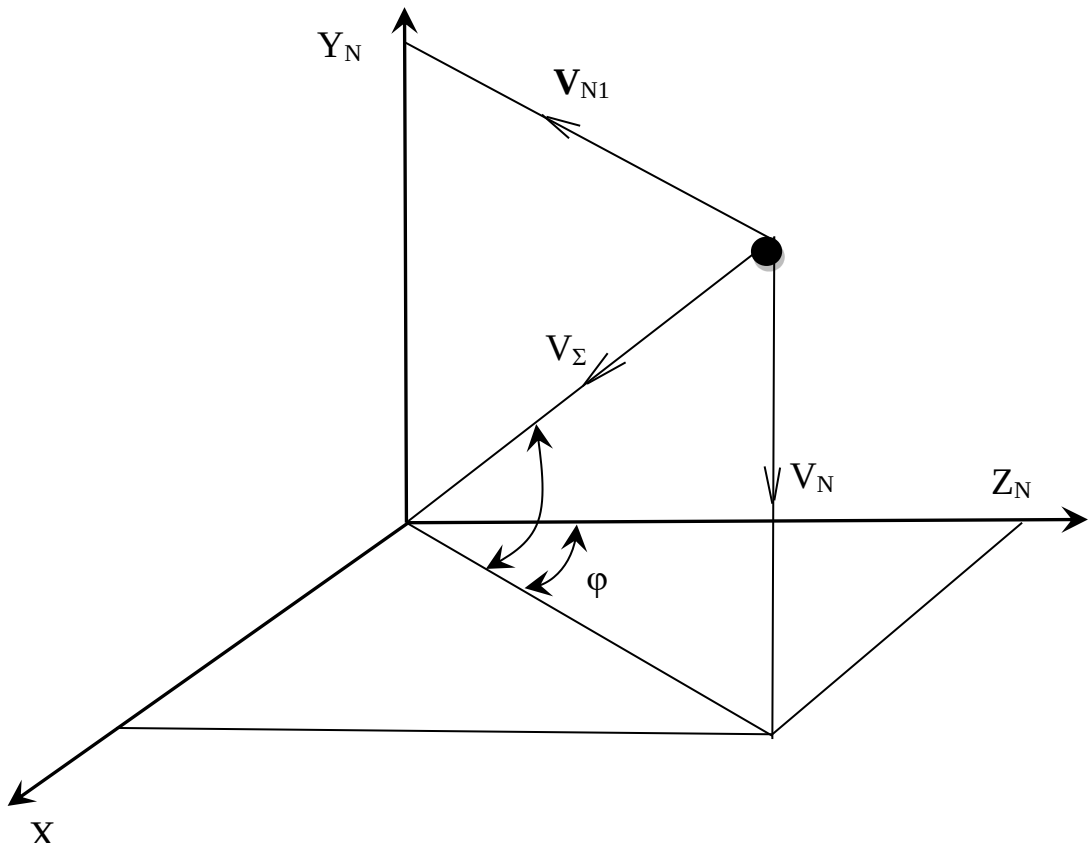


Рисунок 2 - Система координат для движущейся цели

Скалярную скорость определяем из уравнения:

$$V_\Sigma = \left(\frac{Z_N}{\cos\varphi\cos\vartheta} \right)^I = \frac{(Z_N)^I(\cos\varphi\cos\vartheta) - Z_N(\cos\varphi\cos\vartheta)^I}{(\cos\varphi\cos\vartheta)^2} =$$

$$= \frac{(Z_N)^I(\cos\varphi\cos\vartheta) - Z_N((-\sin\varphi\cos\vartheta) + (\cos\varphi(-\sin\vartheta)))}{(\cos\varphi\cos\vartheta)^2} \quad (4)$$

$$Y_N N = Y_N \operatorname{ctg}\vartheta \quad (5)$$

$$V_{N1} = (Y_N \operatorname{ctg}\vartheta)^i = Y_N{}^I \operatorname{ctg}\vartheta + Y_N \frac{1}{\sin^2(x)} \quad (6)$$

$$NN_0 = Y_N \quad (7)$$

$$V_{N2} = (Y_N)^i \quad (8)$$

Соответственно, зная скорости V_Σ, V_{N1}, V_{N2} можно определять координаты движения цели через определенные промежутки времени. Рассмотрим работу, предложенной модели на примере неравномерного и непрямолинейного движения цели для двух точек V_1 и V_2 на рис. 3. Определяем изменения скорости цели следующим образом - полученные от РЛС через определенные промежутки времени значения скорости цели V_1 и V_2 складываем и находим среднюю скорость по формуле:

$$V_\Sigma = (V_1 + V_2)/2 \quad (9)$$

Сравниваем среднюю скорость V_Σ с последней полученной от РЛС скоростью, в данном случае это будет V_2, далее возможно четыре варианта расчета:

1. Если $V_\Sigma = V_2$, тогда можно сделать вывод, что цель летит без маневрирования и расчет

области встречи ракеты с целью будет проводится с учетом того, что цель движется со скоростью V_Σ .

2. Если $V_\Sigma > V_2$ и H < 10000 (где H – высота полета цели в момент времени t_2), можно сделать вывод, что цель замедляется, что характерно для маневрирования цели (делает вираж), тогда расчет области встречи ракеты с целью будет проводится с учетом того, что цель движется со скоростью V_Σ.

3. Если $V_\Sigma < V_2$ и H < 10000, тогда делаем вывод об увеличении скорости цели, что характерно для стартового участка движения цели, расчет будет проводится с учетом того, что цель движется со скоростью V_2.

4. Если $V_\Sigma < V_2$ и H > 10000, тогда делаем вывод, что скорость цели уменьшается в верхней точке своей траектории, что обычно характерно для баллистической цели, расчет будет проводится с учетом, что скорость цели V_2.

Далее алгоритм повторяется для точек V_3 и V_4, причем средняя скорость будет определяться:

$$V_\Sigma=(V_1 + V_2 + V_3 + V_4)/4 \quad (10)$$

Алгоритм будет продолжаться до тех пор, пока скорость цели не достигнет значения V_N и средняя скорость будет:

$$V_\Sigma=(V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \ldots\ldots + V_N)/N \quad (11)$$

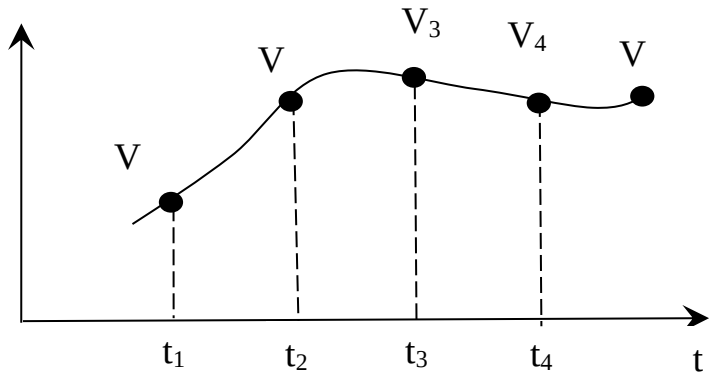


Рисунок 3 - Скорость цели, движущейся неравномерно и непрямолинейно

Сферическая система координат для цели, движущейся непрямолинейно и неравномерно представлена на рис. 4.

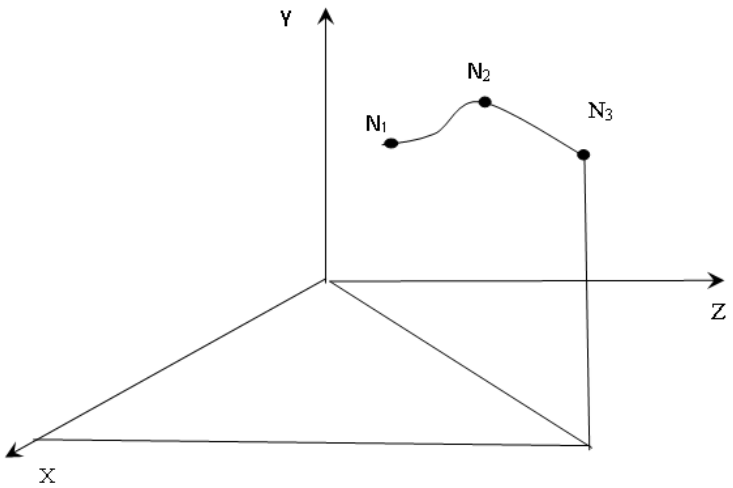
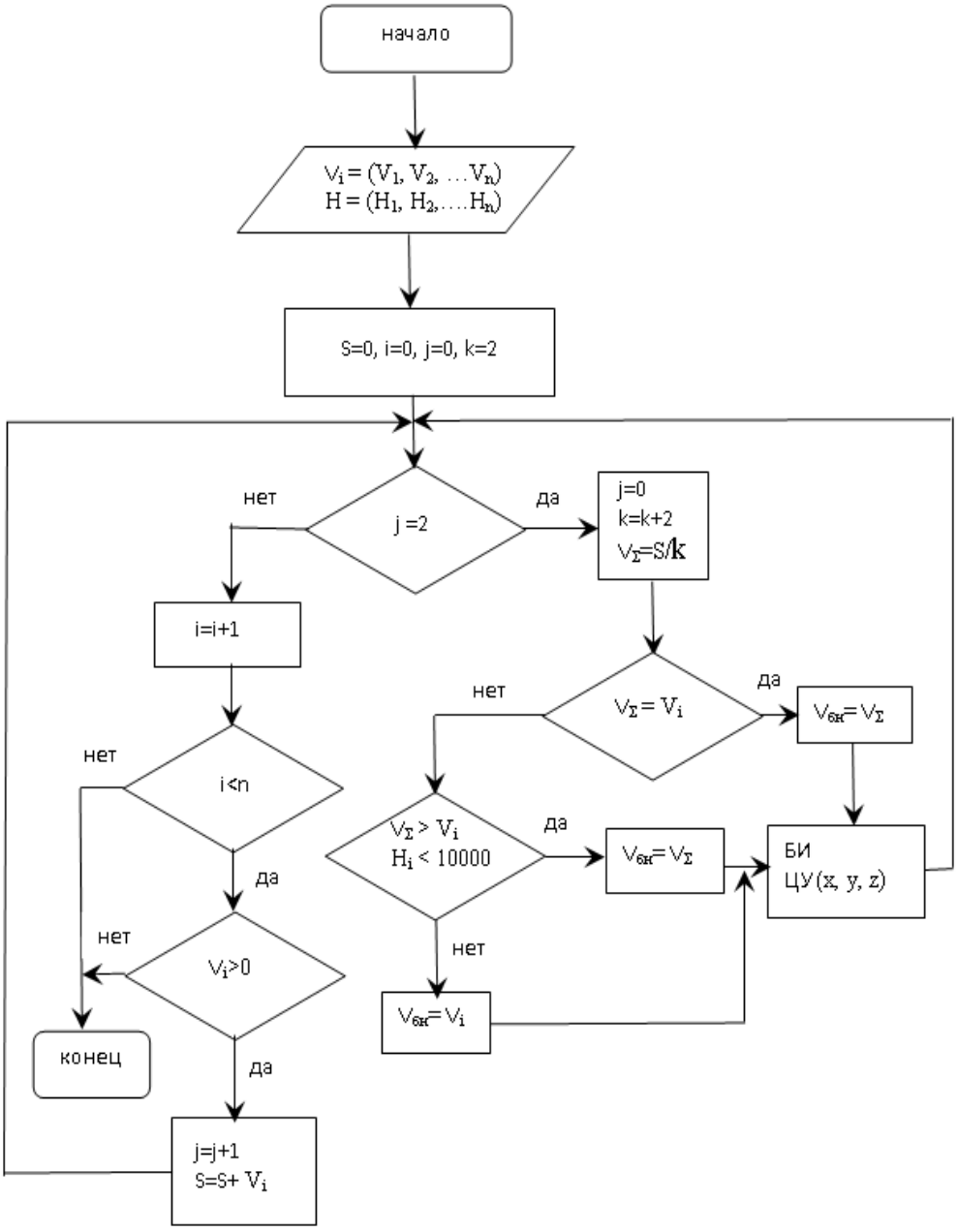


Рисунок 4 - Сферическая система координат для цели, движущейся неравномерно и непрямолинейно

Путь пройденный целью от точки N_1 до N_3 определяется с помощью интегрирования:

$$S = \int V_{\Sigma}(t)dt \quad (12)$$

На рис. 5 представлена блок-схема описанного выше алгоритма, который позволяет усреднять данные по скорости цели. Из схемы видно, что имея данные по скорости цели в двух точках высчитывается средняя скорость движения цели, которая сравнивается с последней полученной от РЛС скоростью цели V_i, после этого в блоке интегрирования (далее БИ) ведется дальнейший расчет траектория полета цели и области возможной встречи ракеты с целью либо со средней скоростью V_{Σ}, либо со скоростью V_i в зависимости от выполнения условий алгоритма.



БИ – блок интегрирования;
V_i – скорость цели, получаемая от РЛС;
Н – высота цели, получаемая от РЛС;

Рисунок 5 - Блок-схема алгоритма математической модели

Заключение

Представленная математическая модель представляет собой перспективную разработку в алгоритмическом виде, которая позволяет выявлять признаки маневра цели, а также вычислять траекторию движения цели и область вероятной встречи ракеты с целью с учетом изменений скоростных характеристик цели и наличия маневрирования. Модель может применяться на перспективных РЛС с цифровой обработкой в режиме непрерывного обзора пространства для обнаружения различных типов целей (аэродинамическая, баллистическая, низколетящая, зависающая). В модели применен алгоритм оптимизация и уточнения входных данных по характеристикам цели и позволяет точнее определять характеристики цели в области встречи ракеты и цели.

Литература

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы, ЗАО «Издательство «Радиотехника» 2015, 441 с
2. Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И. Устройства СВЧ и антенны, Москва, «Радиотехника» 2006, 375 с;
3. Воскресенский Д.И., Канащенков А.И. Активные фазированные антенные решетки, Москва , «Радиотехника» 2004, 488 с;
4. Голубев И.С., Светлов В.Г. Проектирование зенитных управляемых ракет, Москва, МАИ 1999, 727 с;
5. Дружинин В.В. Справочник по основам радиолокационной техники, Москва, Военное издательство Министерства обороны, 1967, 767 с;
6. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение, Москва, «Радиотехника», 2005, 366 с;
7. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации, Москва «Советское радио» 1974, 352 с,;
8. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация, «КВЦ» 2000, 428 с;
9. Трухачев А.А. Радиолокационные сигналы и их применения, Москва, Военное издательство 2005, 320 с;
10. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация, Москва, «Радио и связь» 1993, 418 с.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЙ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИИ ПРИЕМНИКА И СЧИТЫВАТЕЛЯ СИГНАЛОВ С АПФАР

Катаев Я.Л.
НИУ Московский Авиационный Институт
aloffwake@gmail.com

В работе проведен анализ различных применений композитных материалов в конструкциях радиоэлектронных средств с использованием активно-пассивной фазированной решётки. Так же были проанализированы состав приемо-передающего модуля с активно-пассивной фазированной решётки, существующие изделия с использованием композитных материалов в приемо-передающем модуле с активно-пассивной фазированной решётки и конструктивные особенности родома из композитных материалов.

Ключевые слова: активно-пассивная фазированная решётка, композитные материалы, радиоэлектронные средства.

Analysis of the applications of composite materials in the design of the receiver and reader of signals with AESA. Kataev Ya. L., NRU Moscow Aviation Institute

The paper analyzes various applications of composite materials in the structures of radio-electronic means using an active-passive phased array. The composition of the receiving and transmitting module with an active-passive phased array, existing products using composite materials in the receiving and transmitting module with an active-passive phased array and the design features of the composite materials were also analyzed.

Keywords: active-passive phased array, composite materials, electronic means.

Введение

Тема работы – анализ конструкции приемника и считывателя сигналов с активной передающей фазированной антенной решёткой (АПФАР) с использованием композитных материалов.

Актуальность работы обусловлена тем, что развитие современной промышленности характеризуется активным появлением принципиально новых технических и технологических

производств. Внутри многообразия уже сформировавшихся отраслей (таких как двигателестроение, автомобилестроение, индустрия спорта, авиастроение) в последние десятилетия формируется и приобретает всё большее значение индустрия композитных материалов (далее – КМ). В реализации методов производства деталей из КМ работают конструктор и технолог. Производство элементов из КМ имеет правила и свои определённые возможности.

Целью работы является выявление ключевых моментов в разработке подобных устройств.

Постановка задачи

В соответствии с целью можно выделить следующую задачу:

- Провести обзор и проанализировать научное поле (как российское, так и зарубежное) на предмет разработок в области применения КМ для ППМ с АПФАР;

Процесс работы

Согласно ГОСТ 32794-2014 «Композиты полимерные», композит (композитный материал, композиционный материал): Сплошной продукт, состоящий из двух или более материалов, отличных друг от друга по форме и/или фазовому состоянию и/или химическому составу и/или свойствам, скрепленных, как правило, физической связью и имеющих границу раздела между обязательным материалом (матрицей) и ее наполнителями, включая армирующие наполнители. Примечание - Матрица и наполнитель композита образуют единую структуру и действуют совместно, обеспечивая наилучшим образом необходимые свойства конечного изделия по его функциональному назначению. [1]

Как видно из определения, основное преимущество композитов – возможность совмещать характеристики двух и более материалов в одном продукте.

Состав и функции приемо-передающего модуля АПФАР

Чтобы проиллюстрировать возможности КМ в выбранной предметной области, необходимо выделить основные проблемы приемников, входящих в состав изделий с АПФАР. Для начала приведём определение АФАР согласно ГОСТ 23282-91 «Решётки антенные»: Активная фазированная антенная решётка (АФАР) — фазированная антенная решётка, в которой направление излучения и (или) форма диаграммы направленности регулируются изменением амплитудно-фазового распределения токов или полей возбуждения на индивидуальных активных излучающих элементах. [2]

Это означает, что АПФАР состоит из активных излучающих элементов, состоящих из излучающего элемента и активного устройства (приемопередающего модуля, далее ППМ). Задачей ППМ является контроль изменений фаз тока. Совместная работа данных элементов обеспечивается устройством-распределителем.

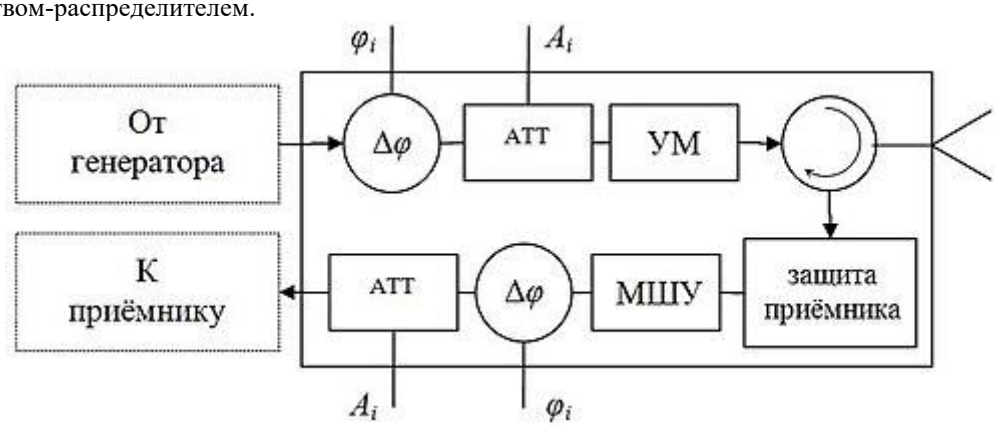


Рисунок 1 – Схема приемо-передающего модуля АФАР

- Устройство защиты приёмника — обычно либо разрядник, либо другое пороговое устройство, предотвращающее перегрузку приёмного канала;
- малошумящий усилитель — два или более каскадов активного усиления сигнала;
- фазовращатель — устройство фазовой задержки сигнала в канале для задания фазового распределения по всему раскрыву решётки;
- аттенюатор — устройство задания (понижения, ослабления) амплитуды сигнала для задания амплитудного распределения по раскрыву решётки.

Главной задачей ППМ является обеспечение высокого КПД АФАР в режиме передачи и одновременно обеспечение широкого диапазона управления амплитудой излучаемого сигнала при сохранении управления фазой. Улучшенных характеристик ППМ можно достичь с помощью дополнительного фазового управления величиной выходного сигнала ППМ, в которых излучатели (или

группа излучателей) связаны с отдельным модулем, содержащим активные элементы в виде различного типа генераторных и усилительных каскадов и преобразователей частоты колебаний, а также пассивные умножители частоты. Наиболее важной характеристикой ППМ является калибровка фазовых длин каналов, поскольку фазовая ошибка влияет на характеристики направленности.

Современный ППМ выполняет множество функций, в том числе: переключает поляризации излучаемых и принимаемых СВЧ-сигналов; управляет переключателями прием-передача; компенсирует температурную зависимость коэффициентов передачи ППМ в режимах передачи и приема; принимает и хранит кодовые команды цифрового вычислителя; выдает коды состояния основных параметров и общего сигнала исправности для контроля; в излучателе АФАР формирует заданный уровень мощности; с требуемой защитой малошумящего усилителя и приемном канале и чувствительностью принимает СВЧ-сигналы; в заданном динамическом и частотном диапазонах с обеспечением требуемой глубины регулировки производит управление раздельно фазой и амплитудой принимаемых и излучаемых сигналов; осуществляет управление переключателями прием-передача.

Использование в передающем и приемном каналах ЛМ одного общего фазовращателя и общей распределительной системы (РС) требуют установки двух высокочастотных приёмо-передающих модулей в каждом модуле. С выхода РС формирующего устройства, который задает длительность импульса и период его повторения, управляется импульсный модулятор каждого активного модуля (ЛМ). Параметры ЛМ ЛФАР зависят от требований, предъявляемым к РЛС, в которой АФАР является антенной системой, а также длины волны, ширины диаграммы направленности (ДН) и излучаемой мощности.

Основной конструктивной особенностью ППМ является то, что они устанавливаются непосредственно в полотно АФАР и сопрягают отдельные элементы антенного полотна с блоками формирования сигнала. Таким образом, габаритные размеры ППМ АФАР ограничиваются возможностью их размещения в полотне антенной решетки. Дня исключения побочных максимумов излучения АФАР при сканировании фазы шаг решетки не должен значительно превышать половину длины волны излучаемого сигнала, поэтому при разработке ППМ АФАР необходимо это учитывать. Например, для X- и С-диапазона длин волн шаг антенной решетки, а соответственно и поперечные размеры ППМ, меняется в пределах от 7 5мм до 18,7 мм в зависимости от рабочей частоты. Столь малые габариты корпуса, а также требование его герметичности, стойкости к механическим и климатическим воздействиям, накладывают существенное ограничение на выбор элементной компонентной базы (ЭКБ), на схемотехнические и конструктивные решения при разработке конструкции ППМ АФАР. [3]

Существенно обостряется проблема обеспечения достаточного теплоотвода с активных элементов (транзисторов усилителей мощности) каждого ППМ в составе антенного полотна. Поэтому по результатам термодинамических расчетов формируются требования к минимально допустимому КПД ППМ, который и определяет выделяемую тепловую мощность. Исходя из этих соображений, ППМ разрабатывается с максимально возможным КПД, то есть стремятся максимально снизить потребляемую мощность при сохранении требуемого уровня выходной мощности передающего тракта ППМ.

Для улучшения вышеописанных характеристик и решения вышеописанных проблем в ППМ и можно использовать композиты.

Композиты могут решить проблему с постоянно теряющимся КПД АПФАР, который теряется по причине использования жидкостного охлаждения конструкции. Конструирование ППМ из классических материалов предполагает постоянную трату мощности на охлаждение, а использование КМ для элементов конструкции позволит избежать этой траты благодаря возможности добиться малого коэффициента теплопроводности и не деформировать при том конструкцию (низкий коэффициент теплового расширения). К детальному решению этого вопроса и планируется далее подойти в ходе НИР, вкупе с исследованием того, каким образом можно добиться повышения электропроводности в КМ, так как она необходима для функционирования антенны. Для решения этой проблемы рассматриваются несколько вариантов: краска с металлическими включениями, металлические решётки, вспененные композиты.

Обзор рынка ППМ с АПФАР

На сегодняшний день рынок приемников и считывателей сигналов с активной передающей фазированной решеткой (АПФАР) с использованием композитных материалов представлен различными решениями, которые обеспечивают улучшенные характеристики и производительность по сравнению с традиционными системами. Композитные материалы в данном контексте могут включать в себя такие составные элементы, как углепластик (карбон), стекловолокно и другие усиленные полимеры.

Несколько существующих решений на рынке включают в себя:

1) Композитные панели с активной фазированной решеткой: использование композитных материалов для создания физической структуры, которая включает в себя активную фазированную решетку. Такие панели могут быть установлены на различных платформах, включая здания, автомобили, самолеты и дроны, и обеспечивать направленный сигнал связи с высокой пропускной способностью.

2) Композитные антенны с активной фазированной решеткой: использование композитных материалов для изготовления антенных элементов, которые работают в составе активной фазированной решетки. Композитные материалы обеспечивают прочность и легкость конструкции, что позволяет создавать компактные и эффективные антенны для различных приложений, включая радио- и спутниковую связь, радар и другие системы связи.

3) Системы связи с использованием композитных материалов и активной фазированной решетки: это решение включает разработку и внедрение полных систем связи, основанных на композитных материалах и активной фазированной решетке. Такие системы могут включать в себя как передатчики, так и приемники с активной фазированной решеткой, что позволяет создавать интег рированные и многофункциональные системы связи. Они могут быть применены в различных отраслях, включая оборону, авиацию, телекоммуникации, медицину и другие.

Одним из преимуществ использования композитных материалов в приемниках и считывателях с активной фазированной решеткой является их высокая прочность при относительно небольшом весе. Композиты обладают отличными механическими свойствами, что позволяет создавать компактные и легкие устройства без ущерба для производительности.

Кроме того, композитные материалы обладают высокой электромагнитной прозрачностью, что означает, что они имеют малую потерю сигнала при прохождении через них. Это важно для обеспечения эффективной передачи и приема сигналов. Композитные материалы также обладают хорошей термической стабильностью и устойчивостью к воздействию окружающей среды, что повышает надежность и долговечность устройств.

Существуют различные компании и исследовательские учреждения, занимающиеся разработкой и производством приемников и считывателей с активной фазированной решеткой на базе композитных материалов. Эти компании исследуют новые технологии, проводят эксперименты и улучшают производственные процессы с целью создания более эффективных и доступных решений.

В целом, рынок приемников и считывателей с активной фазированной решеткой с использованием композитных материалов представляет собой перспективную область развития, которая может привести к созданию новых инновационных устройств для связи и радиолокации.

Различные компании разрабатывают радарные системы с активной фазированной решеткой на базе композитных материалов. Например, одним из таких изделий является F/A-18E/F Super Hornet AESA (Active Electronically Scanned Array), который использует композитные материалы в антенной структуре для обеспечения высокой производительности и эффективности во время выполнения задач по радиолокации.

Некоторые компании также разрабатывают композитные антенны с активной фазированной решеткой для спутниковых связных систем. Эти антенны обычно изготавливаются из композитных материалов, таких как углепластик или стекловолокно, и предлагают высокую производительность, широкий диапазон рабочих частот и компактный дизайн.

В развитии сотовых сетей и передачи данных на большие расстояния активная фазированная решетка на базе композитных материалов также находит применение. Это позволяет создавать мощные и эффективные антенные системы для передачи и приема сигналов на мобильных базовых станциях.

Использование КМ в ППМ с АПФАР для БПЛА

В сфере авиации и обороны композитные материалы используются в БПЛА с активной фазированной решеткой для обеспечения высокой скорости передачи данных и эффективности связи в режиме реального времени. Это важно для выполнения задач разведки, мониторинга и других операций.

В антенной системе AESA F/A-18E/F Super Hornet используются композитные материалы для создания радома (radome) - защитного кожуха, который покрывает антенны. Радом выполнен из композитных материалов, таких как углепластик (карбон), стекловолокно или их комбинация. Это позволяет достичь таких важных преимуществ, как механическая прочность (использование композитов для радома позволяет создать легкую и прочную структуру, которая может выдерживать эксплуатационные нагрузки, включая аэродинамическое воздействие, вибрации и температурные колебания), электромагнитная прозрачность (композитные материалы обладают хорошей электромагнитной прозрачностью, то есть они имеют малую потерю сигнала при прохождении через них; это важно для обеспечения точной и надежной передачи и приема сигналов радарной системы AESA), устойчивость к воздействию окружающей среды (композитные материалы обладают хорошей устойчивостью к воздействию агрессивных окружающих условий, таких как соленая вода, ультрафиолетовое излучение и другие факторы; это важно для обеспечения долговечности и надежности радарной системы во время эксплуатации в различных климатических условиях).

Вот еще несколько конкретных примеров изделий, в которых используются композитные материалы для АПФАР:

F-35 Lightning II – истребитель F-35 Lightning II, разработанный компанией Lockheed Martin, оснащен активной фазированной решеткой (AESA) с антенной структурой из композитных материалов. Композиты применяются в радоме и антенне для обеспечения высокой прочности и эффективности при передаче и приеме сигналов.

E-2D Advanced Hawkeye – самолет Early Warning and Control (AEW&C) E-2D Advanced Hawkeye, производимый компанией Northrop Grumman, использует АПФАР с композитными материалами. Как и в прошлом примере, композиты применяются в радоме и антенной системе для обеспечения электромагнитной прозрачности и механической прочности.

Airbus A350 XWB – воздушное судно Airbus A350 XWB также использует композитные материалы для АПФАР в своих радомах. Композиты применяются для обеспечения легкости и прочности антенной системы, что способствует улучшению производительности связи и снижению веса самолета.

AN/TPY-2 Radar – радарная система AN/TPY-2, разработанная компанией Raytheon, является мобильным радаром для обнаружения и отслеживания баллистических ракет. В AN/TPY-2 используются композитные материалы для АПФАР, включая антенную структуру, которая обеспечивает высокую производительность и надежность радарной системы.

Некоторые российские компании и организации занимаются разработкой и производством радарных систем с АПФАР, используя композитные материалы. Например, ОАО «РТИ» (Радиотехнический институт им. академика В.В. Тихомирова) разрабатывает и производит радарные системы с АПФАР для авиационных и оборонных нужд.

С технической точки зрения, система АПФАР с использованием композитных материалов включает следующие основные элементы:

1) Радом: Радом является защитным кожухом и антенной структурой, установленной на самолете или другой платформе. Он может быть выполнен из композитных материалов, обладающих электромагнитной прозрачностью и механической прочностью. Радом обычно имеет форму купола или конуса и содержит в себе антенну.

2) Антенная решетка: Внутри радома расположена антенная решетка, состоящая из фазированных излучателей (элементов). Элементы могут быть выполнены из композитных материалов или использовать композитные покрытия для повышения эффективности передачи и приема сигналов. Фазированные излучатели могут быть активными элементами, способными генерировать и управлять фазой и амплитудой сигналов.

3) Фазировочная система: Фазировочная система, часто представленная электронным модулем, отвечает за управление фазой и амплитудой сигналов в антенной решетке. Она обеспечивает точное управление фазированными излучателями для формирования пучка сигнала с требуемыми характеристиками, такими как направление, усиление и форма пучка.

4) Управляющая и обработка сигналов: Система АПФАР также включает управляющие и обрабатывающие модули, которые принимают данные от радарной системы и обеспечивают их обработку, анализ и передачу информации на борт самолета или другую платформу.

5) Интерфейсы и коммуникации: Система АПФАР также имеет интерфейсы для взаимодействия с другими системами на борту самолета или платформы, а также для передачи данных и коммуникации с внешними источниками, такими как наземные станции или другие воздушные суда.

Наибольший интерес для разработки из всего вышеперечисленного представляет радом для антенн с использованием композитов.

Конструктивные особенности радома в системе АПФАР

Подробнее рассмотрим конструктивные особенности радома в системе АПФАР с использованием композитных материалов.

Материалы: Для радома могут применяться различные композитные материалы, такие как углепластик (карбон), стекловолокно или их комбинации.

Форма и геометрия: Радом обычно имеет форму купола или конуса, чтобы обеспечить оптимальную аэродинамику и интеграцию с платформой (например, самолетом). Геометрия радома определяется требованиями проектирования, включая эстетические, аэродинамические и функциональные факторы.

Защита антенны: Основной функцией радома является защита антенной решетки от воздействия атмосферных условий, вибраций и других внешних факторов. Композитные материалы обеспечивают достаточную прочность и устойчивость, чтобы защитить антенну от механических повреждений и сохранить ее электромагнитные характеристики.

Электромагнитная прозрачность: Это важно для обеспечения нормальной работы антеннной системы, позволяя эффективно передавать и принимать радиосигналы.

Интеграция элементов: Радом также включает в себя различные элементы, такие как механические крепления, антенные разъемы, кабели и другие компоненты. Их размещение и интеграция

в радоме должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечить правильную работу и надежность всей системы АПФАР.

Описанные выше конструктивные особенности являются общими для систем АПФАР с использованием композитных материалов. Конкретный дизайн и конструкция радома будут зависеть от требований проекта, характеристик платформы и других факторов.

Заключение

В ходе работы были выявлены проблемы, существующие в работе ППМ АПФАР из классических вариантов и было создано техническое предложение решения конкретной проблемы теплоодвода с помощью композитных материалов. Тем не менее, была обнаружена другая проблема, а именно низкая электропроводность КМ, что может негативно повлиять на работу АФАР в целом. Так же был проанализирован существующий рынок подобных изделий с использованием композитных материалов, были выявлены преимущества использования таких материалов для изделий с АПФАР и отдельно были проанализированы характеристики радома из КМ.

Литература

1. ГОСТ 32794-2014. Композиты полимерные. Термины и определения / М.: Стандартинформ, 2015.
2. ГОСТ 23282-91. Решетки антенные. Термины и определения. / М.: Стандартинформ, 2005.
3. Активные фазированные антенные решётки / М.: Радиотехника, 2004.
4. Патент № 2765899 C1 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.
5. 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 UYKKGA.
6. 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.
7. Патент № 2766132 C1 Российская Федерация, МПК H01Q 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.
8. Климов, К. Н. Особенности численного электродинамического моделирования антенного полотна с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // 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. 178-183. – EDN UGCHDM.
9. Климов, К. Н. Электродинамическое моделирование волноводной приёмной антенны с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 1(29). – С. 61-68. – EDN XOUOOM.
10. 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.
11. Климов, К. Н. Численное электродинамическое моделирование вибратора с наклонными плечами в канале Флоке с использованием импедансносогласованного материала / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 2(30). – С. 39-46. – EDN UJIVJD.
12. 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.
13. Дризе, А. Д. Электродинамическое моделирование селекторов поляризаций 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.
14. Конов, К. И. Электродинамическое моделирование частотных характеристик направленного ответвителя диаграммообразующей системы фазированной антенной решётки / К. И. Конов, В. Г. Жилов, А. А. Осипов // Вестник Концерна ПВО Алмаз-Антей. – 2015. – № 3(15). – С. 20-28. – EDN UYYVVT.

15. Степанов, Е. С. Измерение диаграмм направленности линейного элемента ФАР с помощью автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса / Е. С. Степанов, К. И. Конов, К. Н. Климов // Антенны. – 2015. – № 8(219). – С. 80-86. – EDN VJZWMP.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНСТРУКЦИИ СВЧ МЭМС-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ЗНАЧИМЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОЛОКАЦИИ И СВЯЗИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Крутилин М.Д.
НИУ Московский Авиационный Институт
krutilin2000@mail.ru

В данной научной статье проанализированы значимые технологические параметры, рассмотрена методология исследования, проведена разработка модели с ее дальнейшим анализом, показан принцип работы модели, построена электродинамическая схема и продемонстрированы результаты моделирования, а также предложены методы по улучшению работы. Целью данного исследования является разработка электродинамической модели, которая позволит более точно оценить характеристики и поведение переключателя в зависимости от его конструкции и технологических параметров.
Ключевые слова: МЭМС, СВЧ, МЭМС-переключатель, электродинамическая модель

Development of an electrophysical model of the design of a mw MEMS switch taking into account significant technological parameters for new generation radiolocation and communication systems. Krutilin M.D., MAI

This scientific article analyzes significant technological parameters, considers the research methodology, develops a model with its further analysis, shows the principle of the model, builds an electrodynamic circuit and demonstrates the simulation results, and also proposes methods to improve the work. The purpose of this study is to develop an electrodynamic model that will allow a more accurate assessment of the characteristics and behavior of the switch, depending on its design and technological parameters.
Keywords: MEMS, microwave, MEMS switch, electrodynamic model

Введение

В настоящее время системы радиолокации и связи требуют все более компактных, энергоэффективных и высокопроизводительных компонентов. Сверхвысокочастотные (СВЧ) микроэлектромеханические системы (МЭМС) представляют собой перспективную область исследования и разработки в этой области [1-4]. В частности, МЭМС-переключатели играют важную роль в создании передовых систем радиолокации и связи нового поколения, обеспечивая высокую скорость переключения, малые потери и низкое потребление энергии [2,4-6].

Однако разработка и оптимизация МЭМС-переключателей представляют собой сложную задачу, требующую учета значимых технологических параметров [3,7-9]. Технологические факторы, такие как геометрические размеры, материалы, структуры, электрические параметры и процессы изготовления, оказывают существенное влияние на работу и характеристики переключателей. Поэтому разработка электродинамической модели конструкции СВЧ МЭМС-переключателя с учетом этих параметров становится важным шагом для достижения оптимальной производительности и надежности [10].

Целью данной научной статьи является разработка электродинамической модели конструкции СВЧ МЭМС-переключателя с учетом значимых технологических параметров для систем радиолокации и связи нового поколения. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- Анализ значимых технологических параметров и их влияния на работу переключателей;
- Описание выбранной методологии разработки электродинамической модели;
- Представление результатов моделирования СВЧ МЭМС-переключателя с учетом значимых технологических параметров;
- Подведение итогов исследования и выводы.

В дальнейшем, статья будет состоять из следующих разделов: Анализ значимых технологических параметров, Методология исследования, Разработка модели и её анализ и Заключение.

Анализ значимых технологических параметров

Анализ значимых технологических параметров и их влияния на работу СВЧ МЭМС-переключателей является важным этапом исследования. Вот некоторые из этих параметров и их влияние:

- Геометрические размеры: Размеры переключателя, такие как длина, ширина и толщина, могут оказывать влияние на его электрические характеристики. Например, увеличение геометрических

размеров может привести к увеличению емкости переключателя и ухудшению высокочастотных характеристик, таких как потери вставки и изоляция [11-12].

- Материалы: Выбор материалов для изготовления переключателя играет важную роль. Различные материалы имеют разные диэлектрические и механические свойства, что может повлиять на характеристики переключателя. Например, использование материалов с низкими потерями и высокой диэлектрической проницаемостью может улучшить высокочастотные характеристики и уменьшить потери вставки.
- Структуры: Различные структуры переключателей, такие как капацитивные, резонаторные или пьезоэлектрические, имеют свои особенности и преимущества. Например, капацитивные переключатели обычно обеспечивают низкие потери вставки, но могут иметь ограниченную изоляцию между состояниями, в то время как резонаторные переключатели могут обеспечивать более высокую изоляцию, но имеют более сложную структуру [13-14].
- Электрические параметры: Электрические параметры, такие как ёмкость, индуктивность и сопротивление переключателя, также влияют на его характеристики. Например, увеличение ёмкости переключателя может ухудшить высокочастотные характеристики, но может улучшить изоляцию между состояниями.
- Процессы изготовления: Различные технологические процессы, используемые при изготовлении СВЧ МЭМС-переключателей, могут также оказывать влияние на их характеристики. Например, технологические процессы могут влиять на поверхностное качество и гладкость материалов, степень выравнивания и допустимую погрешность геометрии, что в свою очередь может повлиять на электрические характеристики переключателя.

Методология исследования

Анализ этих значимых технологических параметров поможет понять и оптимизировать проектирование и изготовление СВЧ МЭМС-переключателей с целью достижения желаемых высокочастотных характеристик, низких потерь вставки и высокой изоляции между состояниями [15-17]. Это позволит улучшить производительность и эффективность систем радиолокации и связи нового поколения.

Симуляция и моделирование на основе программного обеспечения являются мощными инструментами для исследования и анализа различных систем и процессов. Они используют компьютерные модели и алгоритмы для создания виртуальных окружений и сценариев, которые позволяют анализировать поведение системы и прогнозировать результаты.

Преимущества симуляции и моделирования на основе программного обеспечения включают:

1. Экономия времени и ресурсов: Использование программного обеспечения для симуляции и моделирования позволяет сэкономить время и ресурсы, которые были бы затрачены на реальные эксперименты или изучение системы в естественных условиях. Виртуальная среда позволяет проводить множество итераций и экспериментов быстрее и эффективнее.
2. Исследование сложных систем: С помощью симуляции и моделирования можно изучать и анализировать сложные системы, которые трудно или опасно изучать в реальном мире.
3. Прогнозирование результатов: Симуляция и моделирование позволяют прогнозировать результаты и предсказывать поведение системы в различных сценариях
4. Отладка и оптимизация систем: Виртуальная среда симуляции позволяет отлаживать и оптимизировать системы до их физической реализации.
5. Обучение и образование: Симуляция и моделирование могут быть использованы в образовательных целях для визуализации и объяснения сложных концепций и явлений. Они позволяют студентам экспериментировать, наблюдать результаты и учиться на практике.

Однако, важно отметить, что точность и надежность моделей и симуляций зависят от качества входных данных, используемых алгоритмов и адекватности выбранной модели. Поэтому необходимо проявлять осторожность и проводить валидацию и верификацию моделей для достижения достоверных результатов.

Разработка модели и её анализ

Методика проведения модельного эксперимента:

1. Выбор типа линии передач
2. Расчет физических параметров СВЧ-переключателя
3. Разработка топологии ключа
4. Расчет электрических характеристик ключа
5. Модельный эксперимент

Разработка модели СВЧ МЭМС-переключателя

При выборе типа линии передач была выбрана копланарная волноводная линия (КВЛ) передачи ВЧ сигнала. Центральный проводник может выступать в качестве проводящей ВЧ линии, а 2 крайних проводника будут служить в качестве заземляющего элемента [18-20].

Ключевые параметры КВЛ:

- Ширина центрального проводника
- Толщина центрального проводника
- Высота подложки

При разработке СВЧ-переключателя важными являются следующие параметры:

- Коэффициент упругости балки
- Площадь соприкосновения балки и коммутирующего электрода
- Зазор между балкой и коммутирующим электродом в открытом состоянии
- Геометрические размеры балки (длина, ширина, толщина)

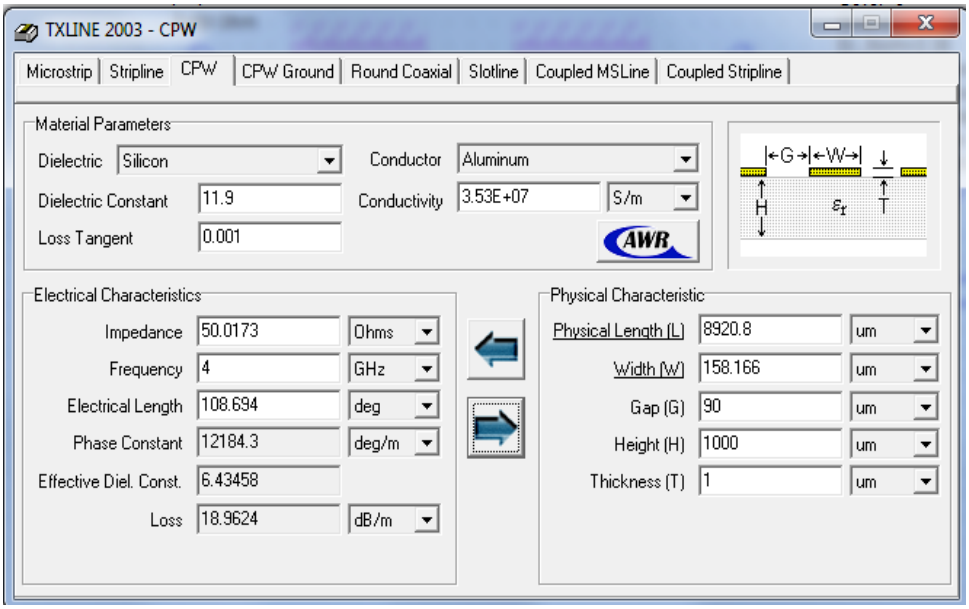


Рисунок 1 – Расчет и соотношение электрических характеристик с физическими параметрами в TXLINE AWR

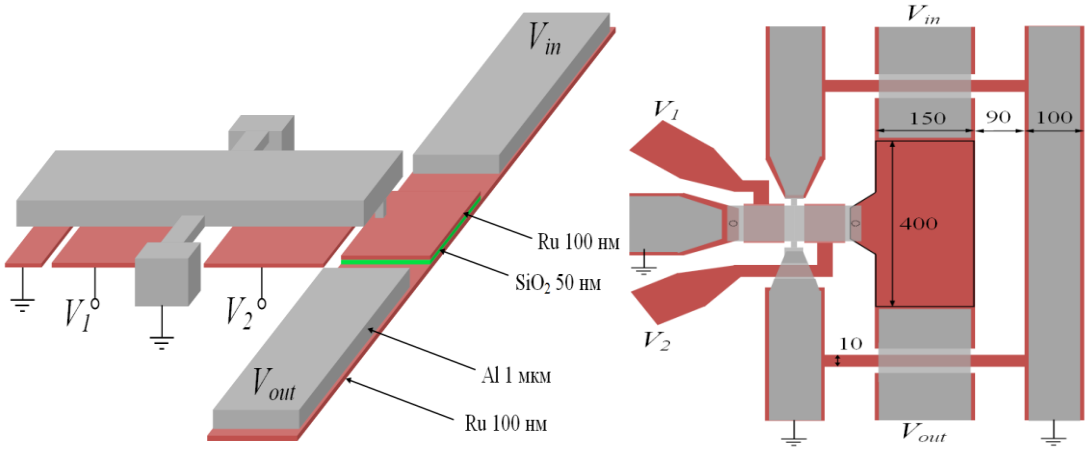


Рисунок 2 и 3 – Топология модели переключателя

Принцип работы

Исходно балка находится в горизонтальном положении. На один из управляющих электродов относительно балки подается напряжение, под действием электростатической силы она наклоняется и приходит в контакт с коммутируемым электродом. При отключении напряжения балка возвращается в исходное состояние. Если же произошло залипание, т.е. силы, действующие между контактирующими поверхностями, превышают силу упругости подвесов, то напряжение подается на противоположный электрод управления. При этом размыкающая сила увеличивается, при некотором значении напряжения

контакт разрывается, и балка наклоняется в противоположную сторону. Таким образом, механизм активного размыкания реализуется относительно просто.

Далее были рассчитаны емкости переключателя в открытом и закрытом состояниях:

$$C_1 = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{d_r} = \frac{4 * 8{,}85 * 10^{-12} * (100 * 150) * 10^{-12}}{50 * 10^{-9}} = 10{,}62 \text{ пФ}$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon_{ra} \varepsilon_0 S}{d} = \frac{1 * 8{,}85 * 10^{-12} * (100 * 10) * 10^{-15}}{10^{-6}} = 0{,}00885 \text{ пФ},$$

$$S_{21} = \frac{2}{2 - 4\pi f \mathrm{C}_1 R},\ d = 0$$

$$S_{21} = \frac{2}{2 - 4\pi f \left(\frac{1}{\mathrm{C}_1} + \frac{1}{\mathrm{C}_2}\right) R},\ d > 0$$

$$V_{PI} = \sqrt{\frac{8kd^3}{27\varepsilon_0 S}}$$

где C_1 – емкость закрытого состояния МЭМС-переключателя

C_2 – емкость открытого состояния МЭМС-переключателя

ε_r – диэлектрическая проницаемость SiO2 (оксида кремния)

ε_0 – диэлектрическая постоянная

S – площадь контакта

d_r – толщина диэлектрика

d – расстояние между контактом и электродом

ε_{ra} – диэлектрическая проницаемость воздуха

R – 50 Ом – волновое сопротивление линии передачи РЧ-сигнала

k - упругость балки

Из выражения с напряжением срабатывания, можно понять, что есть несколько способов его уменьшения.

1. Увеличение электростатической силы, путем расширения зоны действия электростатического поля в, т.е. увеличением площади самого кантилевера и управляющего электрода. В целом, данный метод широко применяется, но при этом имеет ряд ограничений, т.к. с увеличением размеров теряется компактность и миниатюрность переключателя.
2. Уменьшение зазора d. Ограничивающим фактором для данного метода являются адгезионные силы, которые приводят переключатель к выходу из строя засчет залипания кантилевера на нижних электродах
3. Уменьшение габаритов в целом. Недостатком является то, что при уменьшении габаритов всего ключа также уменьшается и зона действия электрического поля, поэтому эффект уменьшения напряжения срабатывания не всегда значителен. Также усложняется само изготовление переключателя.
4. Уменьшение упругости k. Наиболее широко применимый метод. Упругость кантилевера, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда длиной L, шириной w и толщиной t, задается выражением

$$k = \frac{Ew}{4(L/t)^3}, (2)$$

где E – модуль Юнга материала кантилевера. Подставив выражение (2) в (1), получим:

$$V_{PI} = \sqrt{\frac{2\mathrm{E}d^3}{27\varepsilon_0 L_e (L/t)^3}},$$

где, L_e – протяженность управляющего электрода, а также использовано соотношение $в = w$ x L_e. Заменив материал кантилевера на более упругий, увеличив длину кантилевера, уменьшив зазор между кантилевером и электродом можно достичь более низких напряжений срабатывании, обеспечив при этом достаточно большую зону действия электростатического поля.

После расчетов была построена электродинамическая модель гибридного МЭМС-переключателя в программе AWR Microwave Office

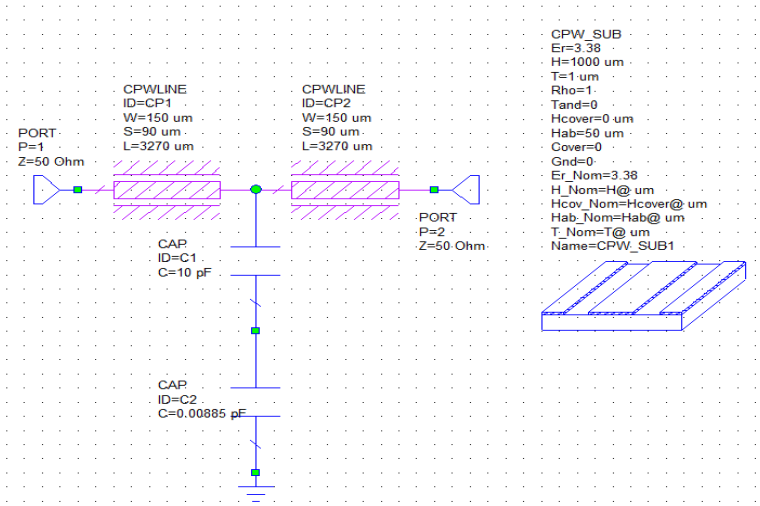


Рисунок 4 – Электродинамическая модель переключателя в разомкнутом состоянии

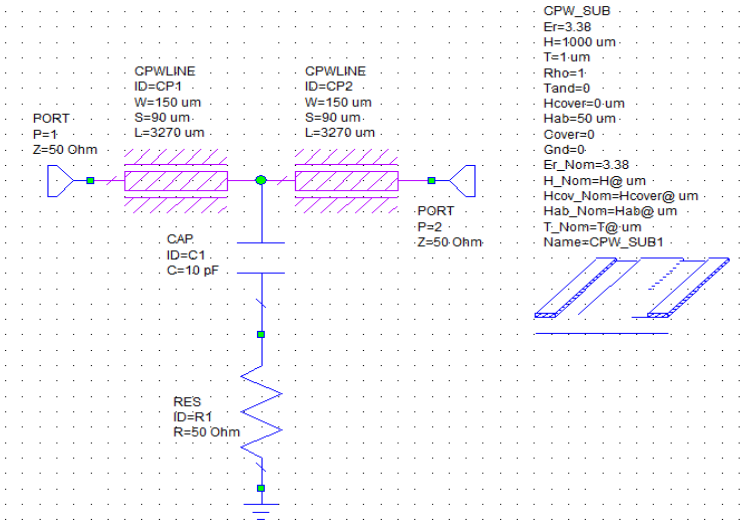


Рисунок 5 – Электродинамическая модель переключателя в замкнутом состоянии

Результаты модельного эксперимента

По результатам моделирования в программе AWR Microwave Office, что ключ такой конструкции плохо работает на СВЧ-диапазоне, ввиду больших вносимых потерь и плохой изоляции контактов.

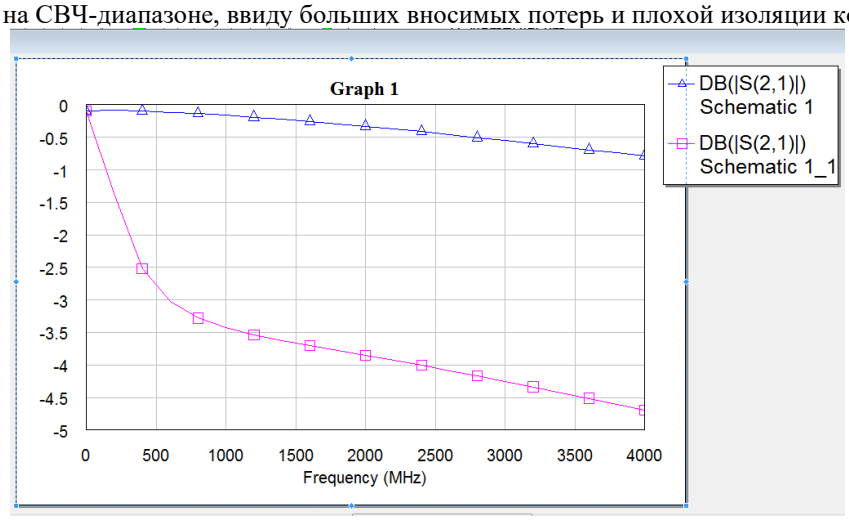


Рисунок 6 – Полученные результаты моделирования

После полученных результатов, было предпринято решение заменить диэлектрик оксид кремния на High-K диэлектрик и поменять контактное сопротивление, с целью уменьшения вносимых потерь и улучшению изоляции контактов.

Такое решение было принято ввиду того, что при уменьшении контактного сопротивления в замкнутом состоянии вносимые потери уменьшатся, т.к. сигнал пойдет по пути наименьшего сопротивления.

В случае, когда переключатель находится в открытом состоянии при увеличении емкостей будет достигнута лучшая изоляция.

$$C_1 = \frac{\varepsilon_{rK}\varepsilon_0 S}{d} = \frac{24 * 8{,}85 * 10^{-12} * (100 * 150) * 10^{-12}}{50 * 10^{-9}} = 63 \text{ пФ}$$

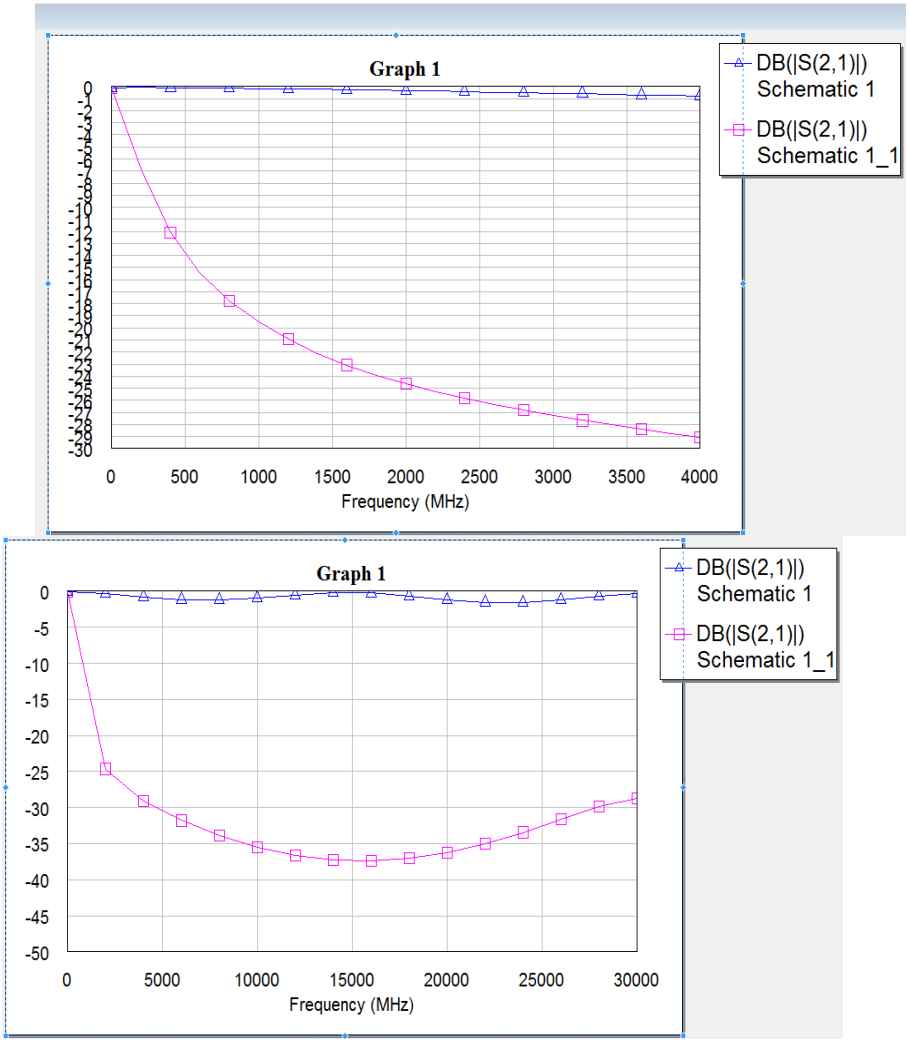


Рисунок 7 и 8 – Полученные результаты идеального переключателя

Заключение

По итогам проделанной работы был проведен анализ значимых технологических параметров МЭМС-переключателей, выбрана методика проведения разработки электродинамической модели СВЧ МЭМС-переключателя и рассмотрены ее преимущества, разработана электродинамическая модель гибридного СВЧ МЭМС-переключателя с дальнейшим анализом его работоспособности и рассмотрены варианты улучшений параметров модели. В итоге повторного моделирования были получены новые результаты, которые говорят о том, что с уменьшением контактного сопротивления с 50 Ом до 1 Ом и заменой диэлектриков, данная модель ключа хорошо показывает себя при работе в диапазонах частот 0 - 4 ГГц, а также 12 - 18 ГГц.

Литература

1. Kim, K., Mazzilli, G. (2016). Microwave MEMS Switches for RF and Millimeter-Wave Applications. IEEE Microwave Magazine, 17(1), 65-81.

2. Патент № 2765899 C1 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.

3. Nabki, F., Nerguizian, V. (2013). MEMS Switches and Integrated Switching Circuits: State-of-the-Art and Future Trends. Journal of Microelectromechanical Systems, 22(2), 237-249.

4. Климов, К. Н. Особенности численного электродинамического моделирования антенного полотна с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // 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. 178-183. – EDN UGCHDM.

5. Wang, L., Rebeiz, G. M. (2015). RF MEMS Switches and Switch Circuits. IEEE Microwave Magazine, 16(6), 55-71.

6. 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.

7. Harjani, R., Kumar, A. (2018). High-Frequency MEMS Switches for Communication and Sensing Applications: A Review. Journal of Microelectromechanical Systems, 27(1), 1-17.

8. 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 UYKKGA.

9. Карлов, Н. В., Раймберг, М. С. (2017). Исследование и моделирование СВЧ МЭМС-переключателей на основе электростатического принципа работы. Известия высших учебных заведений. Приборостроение, 60(1), 15-22.

10. Дризе, А. Д. Электродинамическое моделирование селекторов поляризаций 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.

11. Зуев, В. А., Шалыто, А. А., Шутов, А. Н. (2018). Оптимизация параметров электромеханического реле на базе МЭМС. Электроника: научно-технический журнал, 8, 56-63.

12. Климов, К. Н. Численное электродинамическое моделирование вибратора с наклонными плечами в канале Флоке с использованием импедансносогласованного материала / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 2(30). – С. 39-46. – EDN UJIVJD.

13. Козырев, А. Н., Журавлев, В. Ю., Тюрин, Ю. Ю. (2019). Моделирование и анализ СВЧ МЭМС-переключателей на основе электростатического принципа работы. Вестник Московского университета. Серия 10, Радиотехника и электроника, (6), 429-438.

14. Патент № 2766132 C1 Российская Федерация, МПК H01Q 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.

15. Крылов, А. А., Малов, И. В. (2017). Применение моделирования в задаче разработки СВЧ МЭМС-переключателей. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Радиоэлектроника и информатика, 17(1), 30-37.

16. 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.

17. Климов, К. Н. Электродинамическое моделирование волноводной приёмной антенны с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 1(29). – С. 61-68. – EDN XOUOOM.

18. 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.

19. Уваров И.В., Куприянов А.Н.(2018) Исследование характеристик мэмс-переключателя электростатического типа с механизмом активного размыкания. Микроэлектроника. Т. 47. № 5. С. 30-37.

20. Микроэлектромеханические системы: Учеб. пособие . – Петрозаводск: Из-во ПетрГУ, 2016. – 171 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ РАССЛОЕНИЯ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ ЧЕРЕЗ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Долматов А.В, Лыу Н.Т, Нгуен К.Д, Во Т.Х, Дао А.К
Российский технологический университет МИРЭА
Университет Хунг Вуонг, Фу-Тхо, Вьетнам

Аннотация. В представленной работе рассматривается анализ акустической эмиссии при численном моделировании для выявления дефектов расслоения в многослойных печатных платах (МПП). Метод численного моделирования использовался для изучения распространения акустических сигналов при наличии дефекта в образце МПП. Полученные результаты могут служить важной основой для разработки эффективных методов контроля качества МПП на основе акустической эмиссии. В работе описаны этапы создания геометрической модели МПП, моделирования воздействия вибраций и акустической эмиссии, а также анализа результатов. Полученные данные позволили выделить характерные особенности акустических сигналов при наличии дефекта, что может способствовать более эффективному обнаружению дефектов в МПП. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к созданию более точных и надежных методов контроля качества МПП, улучшая надежность и производительность электронных устройств.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, численное моделирование, многослойные печатные платы, дефекты расслоения, контроль качества.

Investigation of vibration methods for detecting delamination defects in multilayer printed circuit boards through numerical simulation of acoustic emission. Dolmatov A.V, Luu N.T, Nguyen K.D, Vo T.H, Dao A.Q., Russian Technological University MIREA, Hung Vuong University, Phu Tho, Viet Nam

Annotation. In the present paper, we consider the analysis of acoustic emission in numerical simulation to detect delamination defects in multilayer printed circuit boards (MPB). The method of numerical simulation was used to study the propagation of acoustic signals in the presence of a defect in the MPP sample. The obtained results can serve as an important basis for the development of effective methods for quality control of MPP based on acoustic emission. The paper describes the stages of creating a geometric model of the MPP, modeling the impact of vibrations and acoustic emission, and analyzing the results. The data obtained made it possible to identify the characteristic features of acoustic signals in the presence of a defect, which can contribute to more efficient detection of defects in the MPP. Further research in this area may lead to more accurate and reliable methods for quality control of MPAs, improving the reliability and performance of electronic devices.

Keywords: acoustic emission, numerical simulation, multilayer printed circuit boards, delamination defects, quality control.

Введение

С развитием современных технологий электроники и увеличением сложности электронных устройств, многослойные печатные платы (МПП) становятся неотъемлемой частью множества промышленных и потребительских продуктов. Они обеспечивают эффективное соединение компонентов, передачу сигналов и питания, и играют критическую роль в функциональности и надежности устройств, начиная от портативных гаджетов и заканчивая промышленными автоматизированными системами.

Однако, вместе с улучшениями в проектировании и производстве МПП, существует постоянная потребность в разработке более эффективных и точных методов неразрушающего контроля и обнаружения дефектов. Важность этого вопроса обусловлена тем, что дефекты в МПП, такие как расслоение, могут иметь катастрофические последствия, включая неполадки в работе устройств, короткое замыкание и даже возгорание.

В этом контексте, акустическая эмиссия (АЭ) – метод, основанный на детекции ультразвуковых волн, испускаемых материалами в результате деформации или структурных изменений, – становится все более привлекательным и перспективным инструментом для обнаружения дефектов в МПП. Принцип АЭ заключается в регистрации акустических сигналов, которые возникают при распространении дефектов или повреждений в материале. Эти сигналы могут содержать ценную информацию о характере и местоположении дефектов, что делает метод АЭ мощным инструментом для контроля качества и дефектоскопии.

В настоящей работе мы сосредотачиваемся на численном моделировании акустической эмиссии для обнаружения дефектов расслоения в МПП. Наш подход заключается в создании виртуальной среды, которая позволяет анализировать взаимодействие акустических волн с многослойной структурой платы, включая наличие дефектов. Мы стремимся к пониманию, какие характерные особенности акустических сигналов могут указывать на наличие дефектов расслоения, и как эту информацию можно использовать для эффективного контроля качества МПП.

Данная работа представляет подробное описание методологии численного моделирования акустической эмиссии для МПП с дефектами расслоения. Результаты данного исследования могут иметь важное практическое применение, способствуя разработке более точных и надежных методов обнаружения дефектов в МПП, и, таким образом, улучшению надежности и долговечности электронных устройств.

Далее в этой статье представлены основные этапы численного моделирования акустической эмиссии для обнаружения дефектов расслоения в многослойных печатных платах, результаты исследования и их анализ, а также обсуждение потенциальных перспектив и практического применения данного подхода.

2. Методика моделирования

2.1 Геометрическая модель МПП

Для более точного и управляемого численного моделирования акустической эмиссии (АЭ) с целью обнаружения дефектов расслоения в многослойных печатных платах (МПП), принимается решение начать с создания геометрической модели, упрощенной для моделирования, исключив, таким образом, некоторые сложности, связанные с многослойной структурой.

В данной работе для простоты во время моделирования и эксперимента выбрана однослойная печатная плата. Это решение обусловлено несколькими факторами. Во-первых, это позволяет более четко изучить и выделить характерные особенности акустических сигналов, связанных с дефектами расслоения, без учета влияния сложной многослойной структуры. Во-вторых, это позволяет упростить вычислительную модель и сосредоточить внимание на сущности задачи – взаимодействии акустических волн с дефектами.

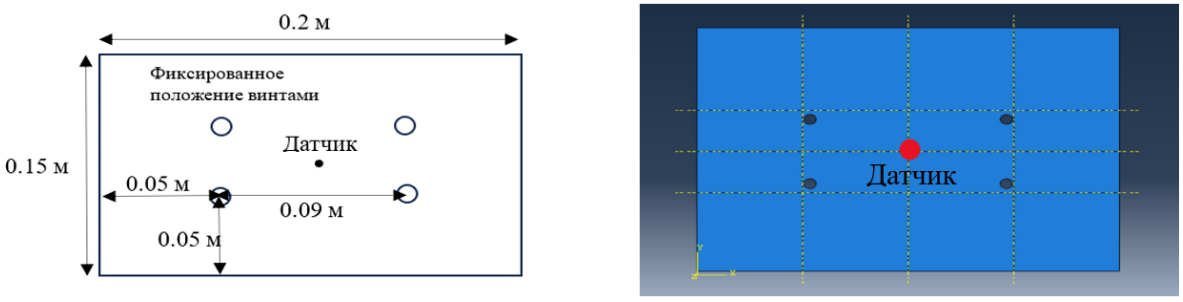
Создание геометрической модели однослойной печатной платы начинается с определения геометрических параметров, таких как размеры и форма платы. Это позволяет создать базовую геометрию, которая затем была дополнена элементами, такими как медные проводники, диэлектрические компоненты и области расслоения. С использованием программного обеспечения ABAQUS была разработана трехмерная геометрическая модель, учитывающая вышеуказанные компоненты.

Для моделирования многослойной печатной платы (МПП) принята пластина из фольгированного стеклотекстолита FR 4 размером (0.2×0.15×0.0015) м. Важные характеристики материала FR 4 подробно представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры материала исследуемой МПП

Материал	Плотность, кг/м^3	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона
FR 4	1850	24	0.136

Схематическое расположение датчика, а также модель в программе ABAQUS показаны на рис. 2.



а) б)

Рисунок 1 – Схематическое расположение датчика (а) и модель в программе ABAQUS (б)

Для симуляции дефекта в виде расслоения на образце многослойной печатной платы в программе ABAQUS была разработана прямоугольная область размерами (3x3.7) см. Модель МПП с включенным прямоугольным дефектом изображена на рисунке 3.

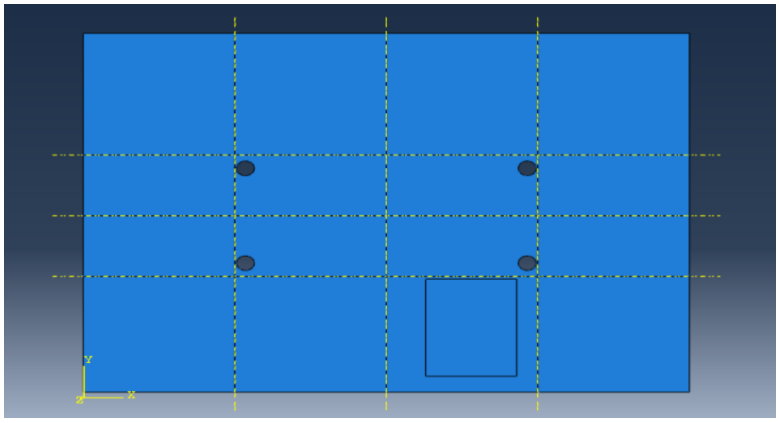


Рисунок 2 – Модель МПП с прямоугольным дефектом размерами (3×3.7) см

2.2 Моделирование воздействия вибраций

Для акустической эмиссии (АЭ) с внутренними дефектами, такими как расслоение, важно понимать, как акустические волны генерируются в материале. В данной секции описывается процесс моделирования воздействия вибраций на материал печатной платы с использованием программного обеспечения ABAQUS.

Сначала, создается модель пластины, имитирующей однослойную печатную плату, с реалистичной геометрией и свойствами материалов. Далее, виртуальный вибростенд используется для внесения вибраций в пластину. Этот вибростенд вводит контролируемые вибрации с различными частотами в пластину, что позволяет изучать, как материал реагирует на разнообразные стимулы.

Виртуальный вибростенд принимается в программе ABAQUS для имитации воздействия вибраций на печатную плату. Вибрации создаются в виде синусоидальной функции с различными частотами в диапазоне от 100 Гц до 2000 Гц с шагом 100 Гц, соответствуя рабочему диапазону реального вибростенда.

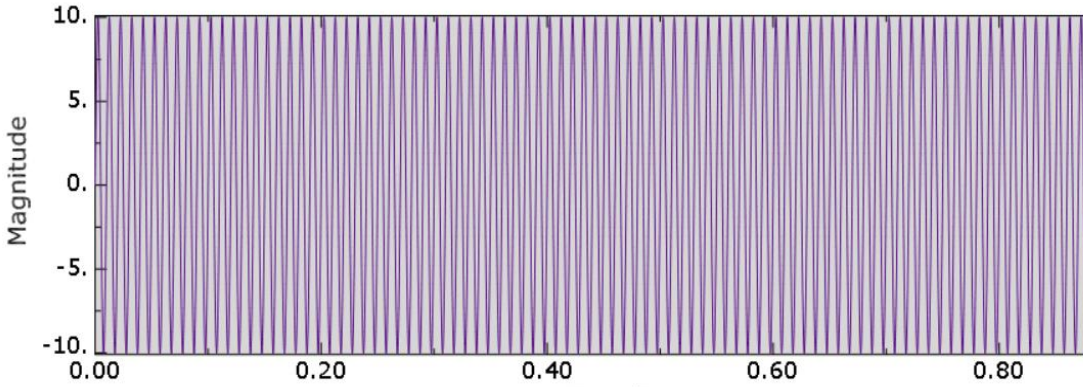


Рисунок 3 - Синусоидальная функция на частоте 100 Гц

Процесс моделирования включает в себя создание сетки для дискретизации пластины и ввода граничных условий, которые учитывают физическое воздействие вибраций. Затем, в результате численного моделирования, генерируются данные о распространении акустических волн внутри пластины при различных частотах вибраций.

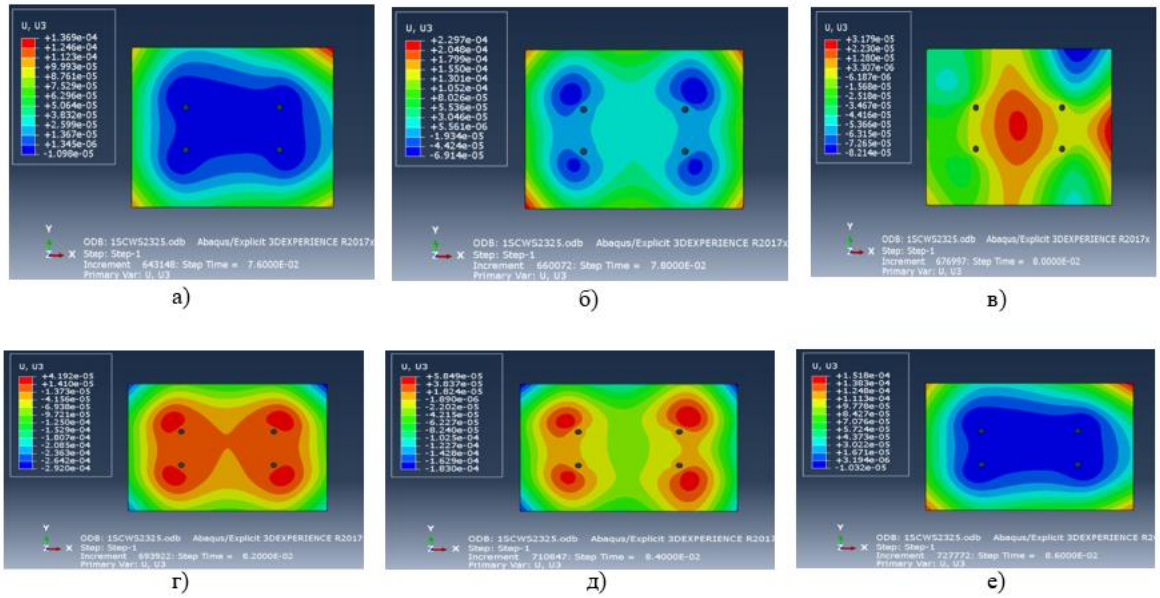


Рисунок 4 - Процесс распространения акустической волны в МПП при отсутствии дефекта в моменты времени в одном периоде при частоте 100Гц: а) 0,76 мс, б) 0,78 мс, в) 0,8 мс, г) 0,82 мс, д) 0,84 мс, е) 0,86 мс

Процесс распространения акустической волны в материале печатной платы играет важную роль в анализе взаимодействия акустических сигналов с дефектами. Для лучшего понимания этого процесса проводится моделирование распространения акустической волны в многослойной печатной плате (МПП) без дефектов при различных моментах времени внутри одного периода при частоте воздействия 100 Гц.

Численное моделирование в программе ABAQUS проводится для анализа распространения акустической волны в МПП при отсутствии дефектов. Процесс воздействия вибраций на материал описан в разделе 2.2. В данном исследовании были выбраны моменты времени в пределах одного периода воздействия с частотой 100 Гц: а) 0,76 мс, б) 0,78 мс, в) 0,8 мс, г) 0,82 мс, д) 0,84 мс, е) 0,86 мс.

Результаты моделирования представлены на соответствующих рисунках. На каждом рисунке показано, как распространяется акустическая волна внутри материала МПП в выбранный момент времени. Это позволяет визуально оценить, какие области материала находятся в более напряженных состояниях в разные моменты времени.

Анализ данных по распространению акустической волны при отсутствии дефектов дает представление о характерных особенностях акустических сигналов, которые можно использовать для дальнейшего сравнения с данными при наличии дефектов. Это позволяет выделить характерные частоты и амплитуды сигналов, которые могут быть связаны с наличием дефектов расслоения в печатной плате.

Дополнительные рисунки с акустическими волнами в МПП при разных моментах времени позволяют более глубоко исследовать процесс распространения акустической волны и получить ценные данные для дальнейшего анализа взаимодействия акустических сигналов с дефектами расслоения.

В итоге, моделирование воздействия вибраций на материал печатной платы с помощью программного обеспечения ABAQUS предоставляет ценные данные о поведении акустических волн в материале. Этот процесс служит основой для дальнейшего исследования акустической эмиссии и выявления характерных особенностей сигналов, связанных с дефектами расслоения.

2.3. Моделирование акустической эмиссии

Одним из центральных аспектов исследования является моделирование акустической эмиссии (АЭ) в условиях наличия и отсутствия дефектов расслоения в печатной плате. В данной секции подробно описывается процесс моделирования временных характеристик акустических сигналов при разных частотах воздействия: 100 Гц, 1000 Гц и 2000 Гц.

На этапе моделирования акустической эмиссии используются результаты предыдущего раздела, где было показано распространение акустических волн при воздействии вибраций на печатную плату. В данном случае, фокус смещается на анализ временных характеристик акустических сигналов, которые генерируются при наличии и отсутствии дефектов расслоения.

На рисунках, предоставленных в данной секции, представлены временные графики акустических сигналов "без дефекта" и "с дефектом" при частотах воздействия 100 Гц, 1000 Гц и 2000 Гц. Для каждой частоты рассматривается амплитуда и форма сигналов в разные моменты времени.

Частота 100 Гц:

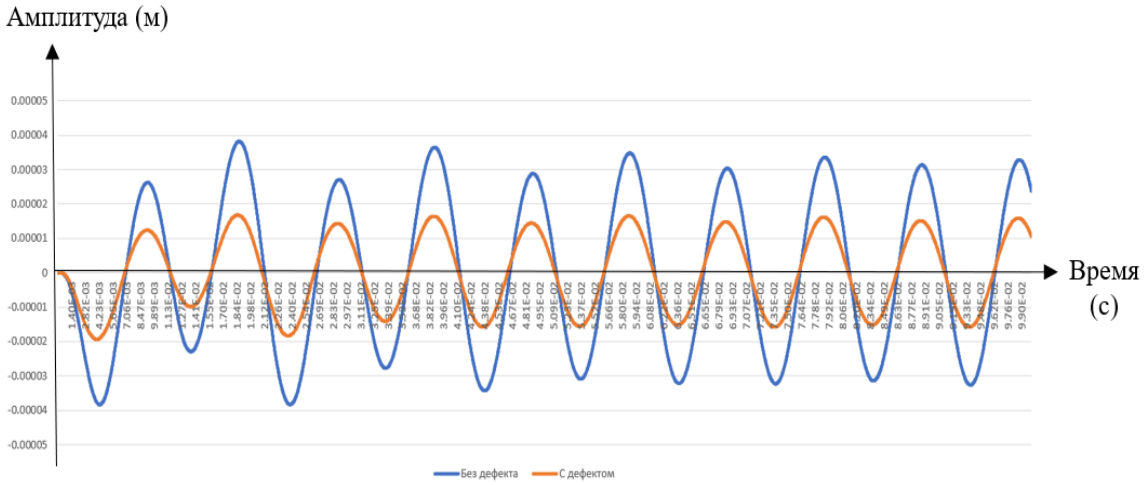


Рисунок 5 - Сигналы от датчика на частоте 100 Гц

На рисунках видно, сигнал в случае «Без дефекта» проходит период нестабильности (от начала до 0,467 мс), а затем снова стабилизируется (от 0,467 мс до 0,1 с). При этом сигнал в случае «С дефектом» достигает устойчивого состояния раньше (в 0,269 мс).

Акустический сигнал при частоте 100 Гц имеет синусоидальную форму и общую фазу, характерные для данной частоты. Сравнивая сигнал «С дефектом», можно заметить отличия в амплитуде. Эти отличия могут быть связаны с взаимодействием акустических волн с дефектами расслоения.

Частота 1000 Гц:

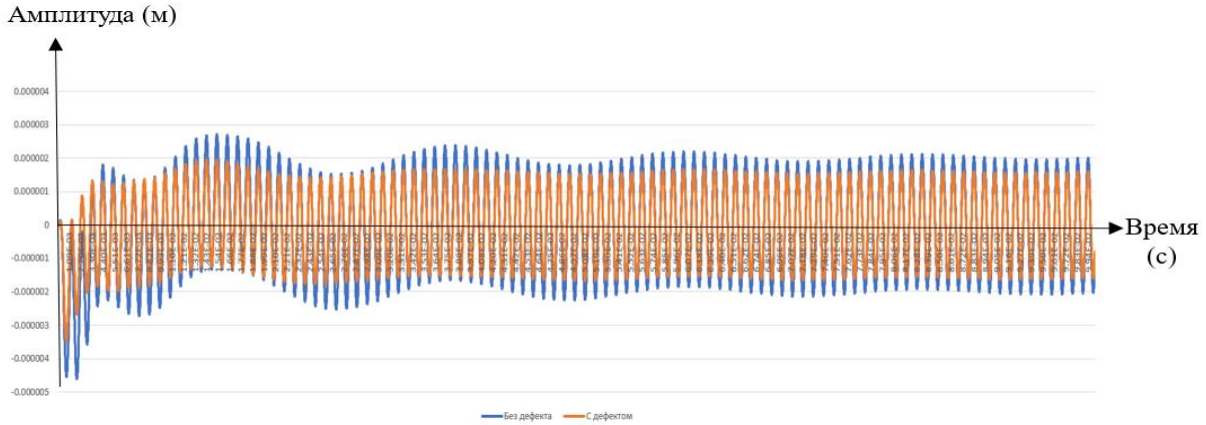


Рисунок 6 - Сигналы от датчика на частоте 1000 Гц

При частоте воздействия 1000 Гц, сигнал «Без дефекта» и «С дефектом» также имеет синусоидальную форму, но амплитуда уменьшается, когда они достигают стабильного состояния (2 мкм для сигнала «Без дефекта» и 1,8 мкм для сигнала «С дефектом»). Амплитуда сигналов в случае «Без дефекта» выше, чем амплитуда сигналов «С дефектом» на все моменты времени. Отличия от времени достижения стабильного состояния двух сигналов тоже существуют. Сигнал в случае «Без дефекта» проходит период нестабильности (от начала до 0,467 мс), а затем снова стабилизируется (от 0,45 мс до 0,1 с). При этом сигнал в случае «С дефектом» достигает устойчивого состояния раньше (в 0,2 мс). Частота полученных сигналов также прямо пропорциональна с частотой воздействия.

Частота 2000 Гц:

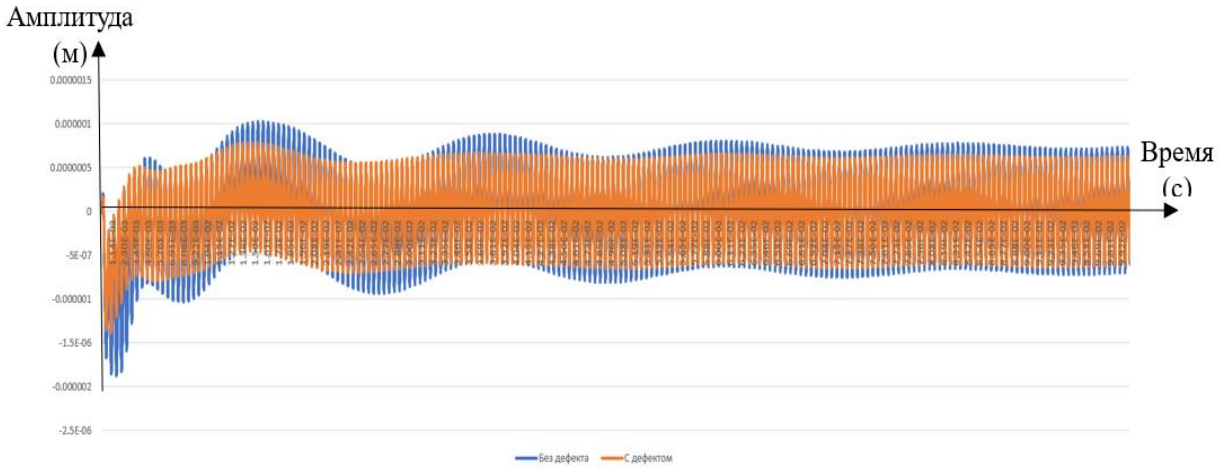


Рисунок 7 - Сигналы от датчика на частоте 2000 Гц

При частоте воздействия 2000 Гц, акустические сигналы «Без дефекта» и «С дефектом» также демонстрируют специфические временные характеристики. Амплитуда обоих сигналов уменьшается, когда они достигают стабильного состояния, сравнивая с сигналами при частоте 1000Гц. Сигналы стабилизируются почти в моменты времени приема сигнала вышеуказанных частот.

Моделирование временных характеристик акустических сигналов при разных частотах воздействия позволяет увидеть, как дефекты расслоения влияют на форму и амплитуду сигналов. Эти результаты имеют важное значение для последующего анализа и сравнения данных натурных экспериментов, а также для определения оптимальных частотных компонентов для обнаружения дефектов в печатных платах.

3. Результаты и обсуждение

3.1 Результаты моделирования акустической эмиссии

В результате моделирования акустической эмиссии при различных частотах воздействия получены временные характеристики акустических сигналов «Без дефекта» и «С дефектом». Анализ этих сигналов позволяет выявить изменения, вызванные наличием дефектов расслоения в структуре печатной платы.

При частоте 100 Гц, сигналы «Без дефекта» и «С дефектом» имеют синусоидальную форму, но наблюдаются различия в амплитуде. Эти различия могут быть связаны с взаимодействием акустических волн с дефектами расслоения. При частоте 1000 Гц, амплитуды сигналов снижаются в стабильном состоянии, и наблюдаются изменения как в амплитуде, так и во времени достижения стабильного состояния для сигналов «Без дефекта» и «С дефектом». При частоте 2000 Гц, амплитуды сигналов также снижаются в стабильном состоянии, а временные характеристики схожи с частотой 1000 Гц.

3.2 Обсуждение результатов

Исследование временных характеристик акустических сигналов при различных частотах воздействия предоставляют ценные данные о воздействии дефектов расслоения на форму и амплитуду сигналов. Наблюдаемые изменения подтверждают, что наличие дефектов оказывает влияние на акустические сигналы, что может быть использовано для обнаружения этих дефектов.

Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод, что изменения в амплитуде и временных характеристиках акустических сигналов связаны с воздействием дефектов расслоения. Эти изменения могут стать ключевыми индикаторами при разработке методов автоматического обнаружения дефектов в печатных платах на основе акустической эмиссии.

4. Заключение

В данной статье представлена методология моделирования акустической эмиссии в печатной плате при наличии и отсутствии дефектов расслоения. Моделирование в программе ABAQUS позволяет получить временные характеристики акустических сигналов при различных частотах воздействия. Анализ этих сигналов подтверждает, что наличие дефектов оказывает влияние на форму и амплитуду акустических сигналов.

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития методов обнаружения дефектов в печатных платах на основе акустической эмиссии. Дальнейшие исследования могут включать более сложные структуры печатных плат, а также использование других методов анализа сигналов для повышения эффективности и точности обнаружения дефектов.

Литература

1. Markas J., Kizanis D., Christopoulos C., et al. (2016). Acoustic Emission Testing of Printed Circuit Boards with Defects Introduced by Delamination. Materials Science Forum, 845, 59-65.
2. Smith A., Jones B. (2018). Acoustic Emission Analysis for Defect Detection in Printed Circuit Boards. Journal of Nondestructive Evaluation, 37(2), 32.
3. Cheng Y., Wang W., Liu H., et al. (2019). Defect Detection in Printed Circuit Boards using Convolutional Neural Networks. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15(2), 1123-1131.
4. ASTM E1137-08. (2008). Standard Specification for Industrial Platinum Resistance Thermometers.
5. Abaqus 2021 Documentation. Dassault Systèmes.
6. Жуков В.М., Завьялов С.А., Иванов Д.В. и др. (2017). Исследование возможностей применения метода акустической эмиссии для контроля качества печатных плат. Вестник Новосибирского государственного технического университета, 17(4), 122-128.
7. Савицкий А.П., Кравченко Г.С., Михеев М.А. и др. (2020). Методы оценки состояния печатных плат на стадии производства. Вестник Технологического университета, 23(3), 368-378.
8. Мартынов А.В., Зайцев А.Н., Алексеев В.В. и др. (2018). Применение метода акустической эмиссии для обнаружения дефектов при производстве печатных плат. Вестник Санкт-Петербургского государственного технологического университета информационных технологий, механики и оптики, 10(1), 93-98.
9. Горячкин Н.В., Савельев Ю.В., Сидорова М.Ю. и др. (2016). Акустическая эмиссия при дефектах в материалах и конструкциях. Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 1, 36-47.
10. Пушкин Д.А., Воронов Д.А. (2019). Методы и средства обнаружения дефектов печатных плат в процессе изготовления. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 19(5), 929-936.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО ПРИЕМНОГО АНТЕННОГО ПОЛОТНА СПРОЕКТИРОВАННОГО МЕТОДОМ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СЕСТРОРЕЦКОГО

Макарушкин Г.Г.
ПАО «НПО «Алмаз» ТОП «ЛЭМЗ»
+7(495)485-15-22, skultik@bk.ru

Проведено электродинамическое моделирование широкополосного приемного антенного полотна. Приведены частотные характеристики КСВ, коэффициента усиления, модуля коэффициента отражения, получены диаграммы направленности на нижней, средней и высокой частотах рабочей полосы.
Ключевые слова: электродинамическое моделирование, широкополосное антенное полотно, рабочая полоса частот.

Electrodynamic modeling of a broadband receiving antenna web designed by the Sestroretsky topological synthesis method. Makarushkin G.G., PJSC NPO Almaz TOP LEMZ
Electrodynamic of a wide – field receiving canvas was carried out. Frequency VSWR, gain coefficients, reflection coefficient modulus are given, radiation patterns at the lower, middle and high frequencies of the working band are obtained.
Key words: electrodynamic modeling, broadband antenna web, operating frequency band.

Введение

Представлены результаты численного электродинамического моделирования антенного полотна (АП) спроектированного с помощью метода топологического синтеза Сестрорецкого [1,2]. На антенном полотне размещены четыре одинаковых излучателя. Эти излучатели имеют коаксиальные входы, что обеспечивает удобство подключения и пользования данного полотна.

Постановка задачи

АП состоит из четырех одинаковых излучателей (1 – приемная антенна 1, 2 – приемная антенна 2, 3 – приемная антенна 3, 4 – приемная антенна 4) [3], которые расположены на прямоугольном алюминиевом полотне (5 – алюминиевое полотно) [6].

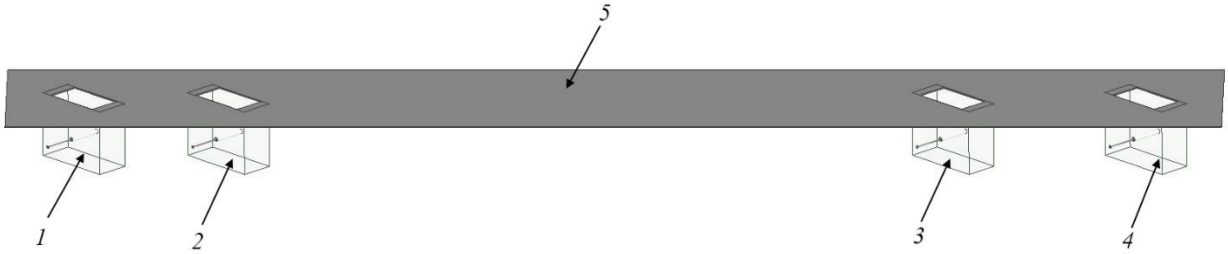


Рисунок 1 – Геометрия приемного антенного полотна

В данном случае был проведен топологический синтез для определения геометрии широкополосного антенного полотна в рамках Сестрорецкого подхода. Топологический синтез позволяет выбрать оптимальную конфигурацию полотна с учетом требований к его производительности. Размеры сечения [4] полотна были выбраны на основе рабочей полосы частот, с которой будет работать АП. Необходимо было обеспечить нераспространение третьей моды волны магнитного типа и не возбуждений второй моды так же магнитного типа. Именно из этих условий было подобрано значение ширины волновода. Длина АП была подобрана таким образом, чтобы соответствовала требованиям для согласования с вакуумом.

3D электродинамическое моделирование приемного антенного полотна

Приведем частотные зависимости [5] КСВ каждого из 4-х каналов антенного полотна на (рис.2) (1 – приемная антенна 1, 2 – приемная антенна 2, 3 – приемная антенна 3, 4 – приемная антенна 4). Уровень КСВ остается ниже 2.5 по всей полосе пропускания. Это свидетельствует о высокой эффективности и качестве работы приемных антенн в данной конфигурации.

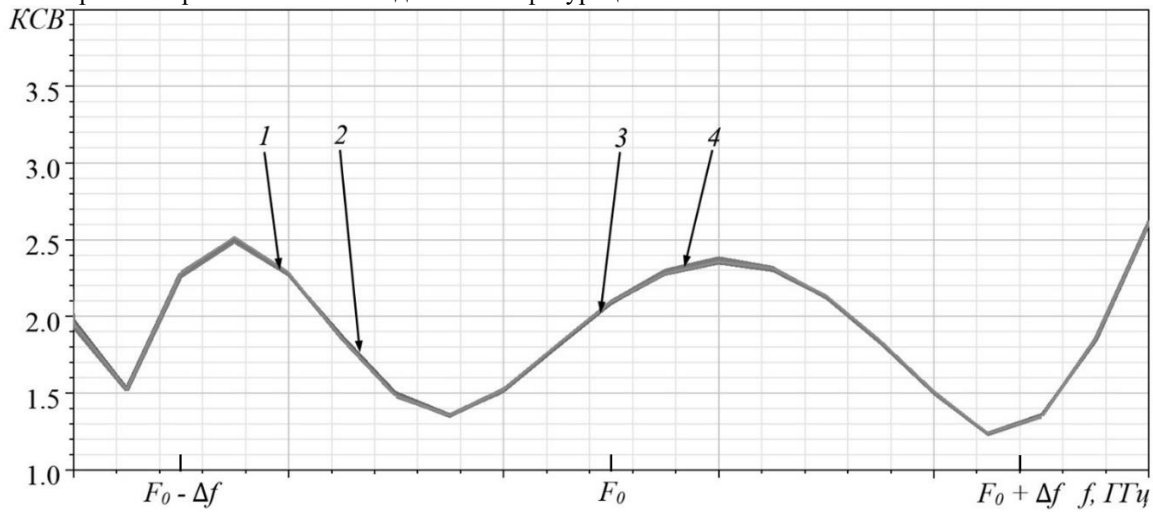


Рисунок 2 – КСВ приемного антенного полотна

Коэффициент усиления (КУ) АП с четырьмя излучателями (1 – приемная антенна 1, 2 – приемная антенна 2, 3 – приемная антенна 3, 4 – приемная антенна 4) в частотном диапазоне от $F_0 - \Delta f$ до $F_0 + \Delta f$ представлен на (рис. 3). Из рисунка видно, что значения КУ каналов [6] АП изменяются от 6.4 дБ до 6.8 дБ.

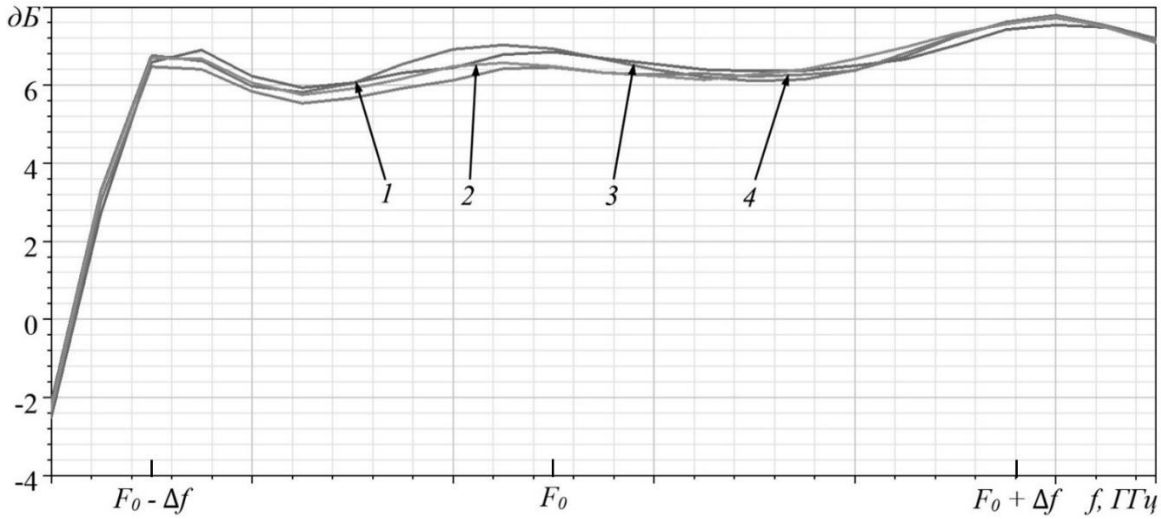


Рисунок 3 – Частотная зависимость коэффициента усиления АП

КО полотна [7] не превышает значения -10.1дБ на частоте $F_0 - \Delta f$, на частоте F_0 -13.5дБ и на частоте $F_0 + \Delta f$ -18.2дБ. Это видно из (рис. 4). Нам необходимо, чтобы коэффициент отражения не превышал значения -10дБ. Таким образом, требования задания выполняются.

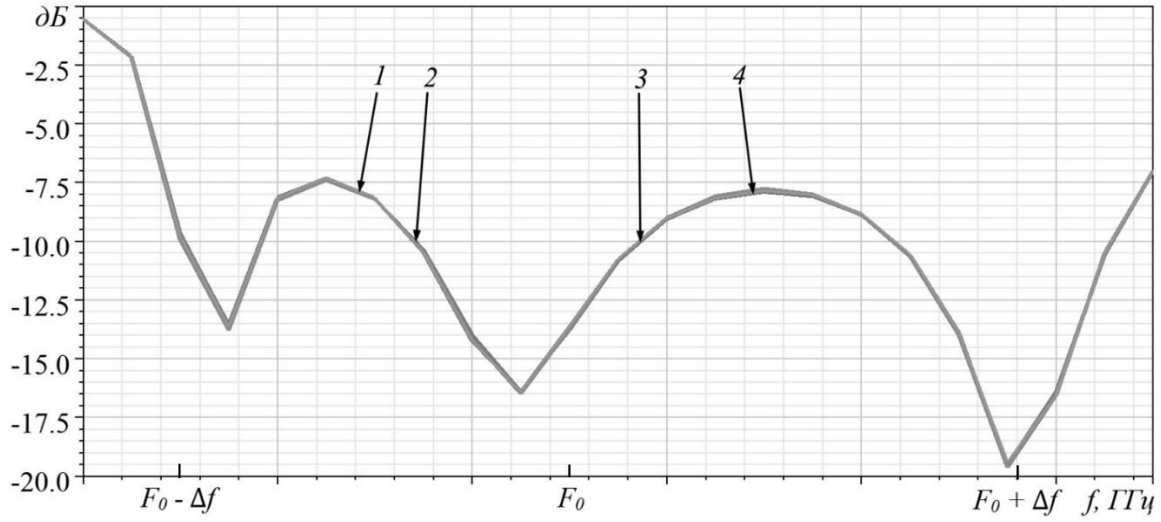


Рисунок 4 – Модуль КО АП

На нижней частоте рабочего диапазона ДН анализируемой геометрии АП показана на (рис.5).

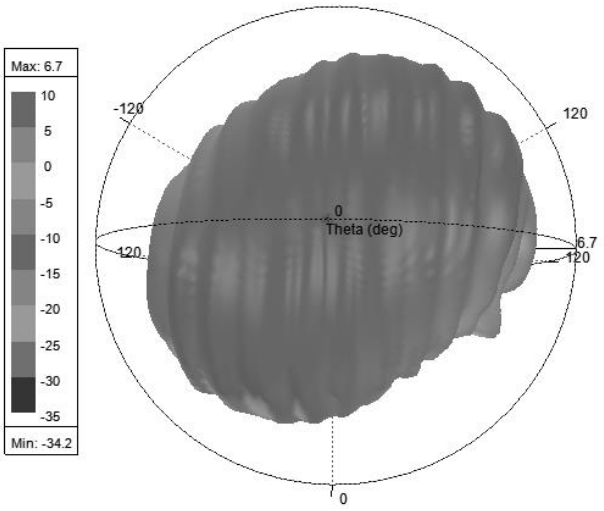


Рисунок 5 – ДН АП на нижней частоте рабочего диапазона

На средней частоте рабочего диапазона ДН анализируемой геометрии [8] АП показана на (рис.6).

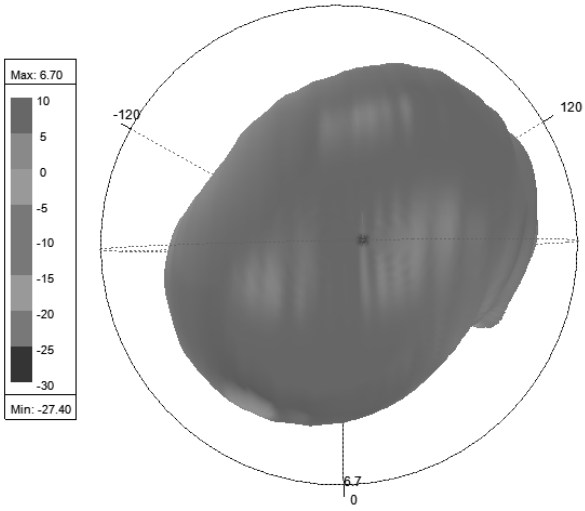


Рисунок 6 – ДН АП на средней частоте рабочего диапазона

На высокой частоте рабочего диапазона ДН анализируемой геометрии АП показана на (рис.7).

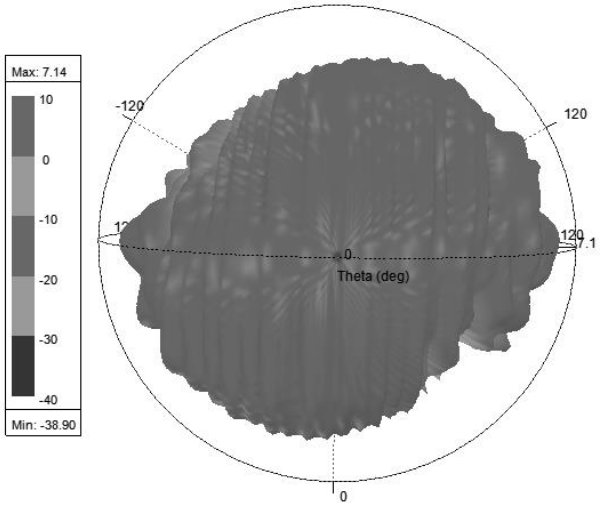


Рисунок 7 – ДН АП на высокой частоте рабочего диапазона

Заключение

Полотно обладает следующими характеристиками, позволяющими его использовать в широкополосной цифровой антенной решетке [9,10]: - широкая диаграмма направленности, что позволяет обеспечивать хорошее пространственное покрытие сигнала в рабочем диапазоне частот, - приемлемые значения КСВ и КУ, что обеспечивает эффективный и качественный прием сигнала в рабочем диапазоне частот. Применение рассмотренного АП позволяет уменьшить возможные искажения и помехи, связанные с посторонними элементами, и обеспечить более стабильную и надежную работу широкополосного АП в цифровой антенной решетке.

Литература

1. Климов, К. Н. Граничные условия поглощения и возбуждения необыкновенных волн в планарной R - сетке / К. Н. Климов, Б. В. Сестрорецкий // Радиотехника и электроника. – 2007. – Т. 52, № 1. – С. 5-19. – EDN HZDMOX.

2. Гежа, Д. С. Электродинамическое моделирование трансформации типов волн в н-плоскостном волноводном переходе / Д. С. Гежа, В. В. Перфильев, К. Н. Климов // Радиотехника и электроника. – 2013. – Т. 58, № 5. – С. 488. – DOI 10.7868/S0033849413050033. – EDN PYSIOP.

3. About structure of fields and stability of electrostatic formations in vacuum / B. V. Sestroretskij, V. A. Ruchenkov, T. V. Kamyshev, C. N. Klimov // Conference Proceedings 10th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory. MMET'04 : Conference Proceedings, Dniepropetrovsk, 14–17 сентября 2004 года / sponsors: Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE. Vol. 2004. – Dniepropetrovsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004. – P. 214-216. – EDN MRDAOX.

4. Model of dipole self-organizing electromagnetic formations in vacuum / B. V. Sestroretskij, T. V. Kamyshev, V. A. Ruchenkov, C. N. Klimov // Conference Proceedings 10th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory. MMET'04 : Conference Proceedings, Dniepropetrovsk, 14–17 сентября 2004 года / sponsors: Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE. Vol. 2004. – Dniepropetrovsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004. – P. 211-213. – EDN MRDIEZ.

5. Ruchenkov, V. A. Electromagnetic modelling of system of two vibrators on transitive compartment accelerating of block "Frigate" / V. A. Ruchenkov, K. N. Klimov, B. V. Sestroretskii // 2007 6th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT'07, 17–21 сентября 2007 года. – Sevastopol, 2007. – P. 312-314. – DOI 10.1109/ICATT.2007.4425196. – EDN MRIQNN.

6. The three-band non adjustable polarization selector on the basis of two coaxials / V. A. Ruchenkov, T. V. Kamichev, B. V. Sestroretsky, C. N. Klimov // 2004 4th International Crimean Conference: Microwave and Telecommunication Technology : Conference Proceedings, CriMiCo'04, Sevastopol, 13–17 сентября 2004 года / sponsors: Sevastopol National Technical University, Ukraine, FSUE, SCRRTI, Moscow, Russia, Interface-MFG Co. Moscow, Russia, OJS SPE, Staurn, Kiev, Ukraine, NTUU KPI, SRI of Telecommunications, Kiev, Ukraine. – Sevastopol: Institute of Electrical and Electronic, 2004. – P. 396-397. – DOI 10.1109/crmico.2004.183256. – EDN MXRMZP.

7. Generation of the impedance grid for moving medium / V. A. Ruchenkov, B. V. Seztroretskiy, K. N. Klimov, T. V. Kamyshev // 5th International Conference on Antenna Theory and Techniques, 2005, 24–27 мая 2005 года / sponsors: Eur. Office of Aerospace Res. and Dev. of the USAF, IEEE Region 8 Office, SRI on Radar Syst. "Kvant-Radiolokatsiya", Kyiv, Ukraine, Joint Stock Co. "TPOAZ", Donetsk, Ukraine, Scientific-Prod. Company "TERA", Kyiv, Ukraine. Vol. 2005. – Kyiv, 2005. – P. 446-448. – DOI 10.1109/ICATT.2005.1497010. – EDN MXRPYD.

8. The equivalent modified circuits of primitive space object for bias plasmas / T. V. Kamyshev, B. V. Seztroretskiy, K. N. Klimov [et al.] // 5th International Conference on Antenna Theory and Techniques, 2005, 24–27 мая 2005 года / sponsors: Eur. Office of Aerospace Res. and Dev. of the USAF, IEEE Region 8 Office, SRI on Radar Syst. "Kvant-Radiolokatsiya", Kyiv, Ukraine, Joint Stock Co. "TPOAZ", Donetsk, Ukraine, Scientific-Prod. Company "TERA", Kyiv, Ukraine. Vol. 2005. – Kyiv, 2005. – P. 421-423. – DOI 10.1109/ICATT.2005.1497002. – EDN MXRPYX.

9. 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" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Климов Константин Николаевич. – Москва, 2007. – 49 с. – EDN NJCATL.

10. Возможность осуществления электростатического релятивистского динамо / К. Н. Климов, Б. В. Сестрорецкий, С. М. Годин, В. В. Рощин // Радиотехника и электроника. – 2004. – Т. 49, № 11. – С. 1325-1331. – EDN OWKAQH.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕМРИСТОРОВ. ИХ ПОТЕНЦИЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИИЕ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ И ИСКУСТВЕННЫХ ИТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОМОРФНЫХ ЧИПОВ.

Мартынов Д.А.
НИУ Московский авиационный университет

Рассмотрены особенности конструкции и оценены технические характеристики мемристоров. Отмечены особые свойства нового электронного компонента, позволяющие использовать его при создании нейроморфных чипов и как аналог транзисторов в электронных схемах, используемых в электронно-вычислительных устройствах.

Ключевые слова: мемристоры, нейроморфное вычисление, искусственный интеллект, резистивное переключение, диоксид титана, синапс, нейрон.

Prospects for the application of memristors. Their potential application in microelectronics and artificial intelligent systems based on neuromorphous chips. Martynov D.A. MAI.

Structure features are considered and the technical characteristics of memristors are evaluated. The special properties of the new electronic component are noted, which make it possible to use it in the creation of neuromorphic chips and as an analogue of transistors in electronic circuits used in electronic computing devices.
Keywords: memristors, neuromorphic computing, artificial intelligence, resistive switching, titanium dioxide, synapse, neuron.

Введение

Мемристор (от англ. memory – память, resistor - сопротивление) – это электронный компонент способный сохранять внутреннее сопротивление на основе истории приложенного напряжения и тока. Изменение сопротивления является энергонезависимым, т. е. состояние сопротивления может сохраняться в течение длительного времени после удаления внешнего электрического поля.

В 1971г. профессором Леоном Чуа была разработана теория мемристора. На протяжении 37-ми лет считалось, что мемристор - теоритический объект, конструкцию которого нельзя создать. Но уже в 2008 году коллективу ученых из исследовательской лаборатории фирмы Hewlett-Packard во главе с Робином Уильямсом удалось создать лабораторный образец запоминающего элемента, который демонстрировал некоторые из свойств мемристора.

Для чего потребовалось создание нового электронного компонента?

На это есть две причины. Первая из них – это достижение физического предела в размещении транзисторов в интегральной схеме. Согласно закону Мура количество транзисторов на кристалле интегральной схемы с каждым годом должно увеличивать в два раза. Но на данный момент это уже не работает и понижение проектных норм (техпроцесса) возможно лишь путем оптимизации архитектуры, что можно проследить на попытке ввести новые конструкции, такие как GAA (Gate-All-Around FET) и CFET (Complementary FET).

Вторая причина связана с развитием искусственного интеллекта. Современные вычислительные системы имеют проблемы, связанные с большими объемами данных и увеличением нагрузки на связь между памятью и процессором. Для решения этой проблемы требуется использование новой архитектуры, отличающейся от классической модели фон Неймана. Например технология In-memory computing (IMC) является многообещающим подходом к обеспечению более высокого параллелизма обработки данных, благодаря архитектуре массива памяти.

Электрическая модель

Резистор связывает напряжение и ток (dv = Rdi), конденсатор связывает заряд и напряжение (dq = Cdv), а катушка индуктивности соотносит поток и ток (dϕ = Ldi) соответственно. Связь между потоком и зарядом явно отсутствует(dϕ=M.dq). Как показано на рисунке 1, недостающее звено между потоком и зарядом называется мемристансом M.

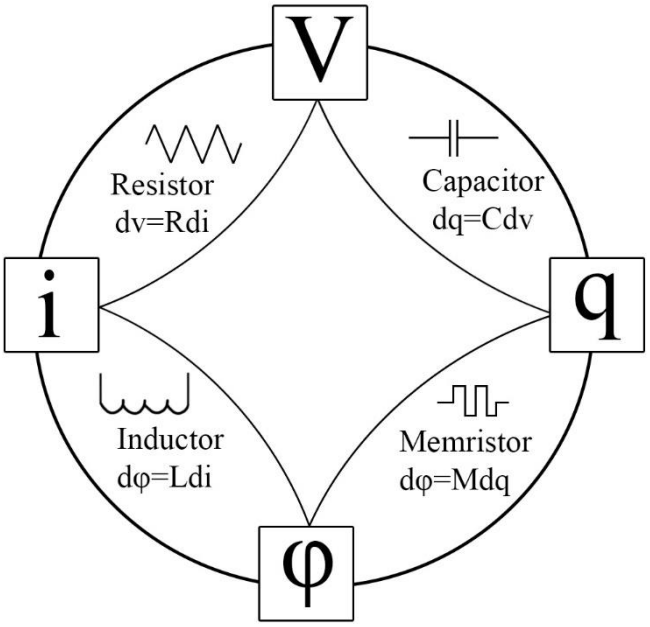


Рисунок 1 – Четыре основных двухполюсных элемента схемы

Для моделирования математического поведения мемристора мы можем написать следующее:

$$v(t) = \left(R_{ON}\frac{w(t)}{D} + R_{off}\left(1 - \frac{w(t)}{D}\right)\right) i(t) \quad (1)$$

где w(t) — ширина легированной области, D — общая толщина двухслойного TiO2, Ron — сопротивление при полностью легированной активной области (w = D) и Roff — сопротивление, когда бислой TiO2 в основном не легирован (w→ 0).

$$\frac{dw(t)}{dt} = \mu_v \frac{R_{ON}}{D} i(t) \quad (2)$$

Из чего можно вывести формулу для w(t):

$$w(t) = \mu_v \frac{R_{ON}}{D} q(t) \text{ (3)}$$

где μv — средняя подвижность легирующей примеси. Подставив уравнение (3) в уравнение (1) получаем мемристанс этой системы, который будет выглядеть следующим образом при Ron ≤ Roff:

$$M(q) = R_{OFF}(1 - \frac{\mu_v R_{ON}}{D^2} q(t)) \text{ (4)}$$

Уравнение (4) показывает, что значение мемристора в наибольшей степени зависит от подвижности легирующей примеси μv и толщины полупроводниковой пленки D. Так как D^2 находится в знаменателе, то небольшая толщина полупроводниковой пленки D (нанометровый масштаб) позволяет наблюдать мемристанс в материалах нанометрового масштаба, а значение разницы несопоставимо с микрометровой шкалой. Как мы упоминали, в Мемристоре φ можно записать как функцию q ($M = \frac{d\varphi}{dq}$).

Исходя из следующего уравнения:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{d\varphi}{dq}\frac{dq}{dt} \text{ (5)}$$

Можем записать следующее: $M = \frac{v}{i}$, т.к $i = \frac{dq}{dt}$, а $v = \frac{d\varphi}{dt}$.

Так как $\int_{-\infty}^{t} vdt$, то мемристанс зависит не только от текущего состояния переменных, но также зависит от предыдущих значений напряжения мемристора.

Следовательно, устройство обычно имеет гистерезисные ВАХ. В мемристоре заданному значению i соответствуют два значения v при i ≠ 0, и наоборот. На рис. 2 показана «сжатая петля гистерезиса» и пример сжатия петли с увеличением частоты. Действительно, при частоте возбуждения стремящейся к бесконечности мемристор ведет себя как обычный резистор.

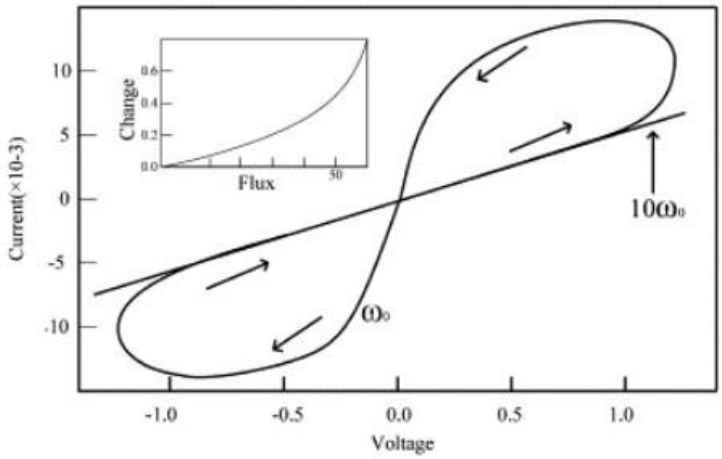


Рисунок 2 – Сжатая петля гистерезиса на ВАХ мемристоров

Конструкция мемристора

Мемристор обычно производится на основе МДМ (металл-диэлектрик-металл) структур. Ниже представлены 5 наиболее предпочтительных материалов для изготовления мемристоров:

- TiO2 мемристор
- Мемристор на основе спинового токопереноса (Spintronic Memristor)
- Полимерный мемристор
- Мемристор из аморфного кремния (a-Si мемристор)
- Сегнетоэлектрический мемристор

В данной работе рассмотрим конструкцию мемристора на основе диоксида титана.

Мемристор TiO2 основан на тонкой пленке TiO2 нанометрового масштаба (2-3 нм). На рисунке 3 представлены легированная и нелегированная области. Струков и др. [1] использовали очень тонкую пленку TiO2, зажатую между двумя платиновыми (Pt) контактами, где одна сторона TiO2 легирована кислородными вакансиями, которые представляют собой положительно заряженные ионы. Следовательно, существует переход TiO2, где одна сторона легирована, а другая – нелегирована (рис. 4). Такой процесс легирования приводит к двум различным результатам сопротивления: один - с высоким сопротивлением (нелегированная), а другой - с низким сопротивлением (легированная). Приложение внешнего смещения v(t) к устройству приведет к перемещению границы между двумя областями, вызывая смещение заряженных примесей.

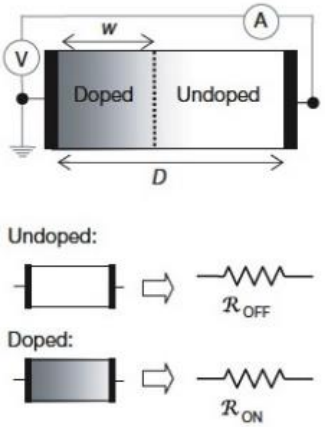


Рисунок 3 – Схема мемристора на основе диоксида титана

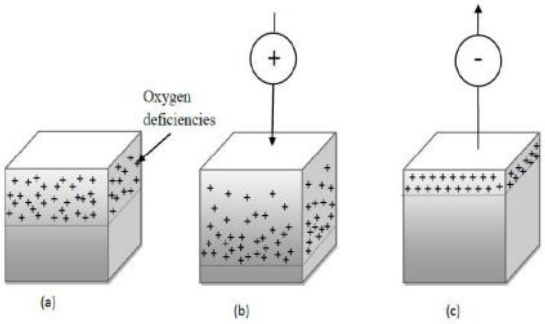


Рисунок 4 – Поведение мемристора TiO2 при приложенном положительно и отрицательном напряжении

Недостаток кислорода в TiO2-x проявляется в виде пузырьков кислородных вакансий, «разбросанных» по всему верхнему слою (рис. 4). Положительное напряжение на переключателе устраняет (положительный) дефицит кислорода в металлическом верхнем слое TiO2−x, направляя его в изолирующий слой TiO2 ниже. Это приводит к смещению границы между двумя материалами вниз, увеличивая процент проводящего TiO2-x и, следовательно, проводимость всего переключателя. Чем больше приложено положительного напряжения, тем более проводящим становится куб. Отрицательное напряжение на переключатель притягивает положительно заряженные пузырьки кислорода, вытягивая их из TiO2. Количество изолирующего резистивного TiO2 увеличивается, тем самым делая переключатель в целом резистивным. Чем больше приложено отрицательного напряжения, тем менее проводящим становится куб. Что делает этот переключатель особенно запоминающимся, так это то, что при отключении напряжения, положительного или отрицательного, пузырьки кислорода не мигрируют. Они остаются на своих местах, что означает, что граница между двумя слоями диоксида титана заморожена. Именно так мемристор «запоминает» какое напряжение было подано в последний раз. Очевидный недостаток первого мемристора (TiO2 мемристора) является скорость переключения (работал всего на частоте 1 Гц). Скорость была несопоставима с SRAM, DRAM-памятью и даже флэш-памятью. Время записи во флэш-памяти составляет порядка микросекунды, а скорость записи в энергозависимую память составляет порядка сотен пикосекунд.

Многие исследовательские группы в различных лабораториях опубликовали свои результаты, демонстрирующие более высокую скорость переключения. В октябре 2011 года лаборатория HP разработала мемристорный переключатель, использующий импульс установки длительностью 105 пс и импульс сброса длительностью 120 пс. Было рассчитано, что энергии переключения для включения и выключения составляет 1,9 и 5,8 ПДж соответственно. Полная длина D (рис. 3) мемристора TiO2 составляет 10 нм [2].

Таблица 1 - Различные классы мемристоров на основе различных материалов.

Мемристор	Преимущества	Недостатки	Применение	Университет/ лаборатория
TiO2	небольшой масштаб, быстрое переключение, простая структура	все еще ненадежен для	память, нейроморфные, аналоговые	HP Lab

		коммерческих целей	устройства	
Spintronic	совместимость с MRAM	медленное переключение	RRAM, чувствительные схемы	University of Pittsburgh, US
Полимерный	относительная легкость с химическими материалами, работа на сверхнизких мощностях	медленное переключение	биологические системы	Parma University
a-Si	КМОП-совместимость, быстрое переключение	необходимость высоковольтного напряжения	Нейроморфные чипы	Michigan University
Сегнетоэлектрический	Энергонезависимая память	медленное переключение, несовместимость с КМОП	Резистивная память, синапсы	Panasonic, Japan & Thales, France

Нейроморфные системы

Ключом к высокой эффективности биологических систем является широкая связность между нейронами, которая обеспечивает высокую мощность параллельной обработки данных. Синаптический вес между двумя нейронами может быть точно отрегулирован с помощью ионного потока, проходящего через них, и широко распространено мнение, что адаптация синаптического веса позволяет биологическим системам обучаться и функционировать. Мемристоры функционируют аналогично биологическим синапсам. Эта характеристика делает мемристоры подходящими строительными блоками в нейроморфных системах, где нейроны и синапсы моделируются как электронные устройства [3]. Мемристоры можно сделать чрезвычайно маленькими, поэтому, применяя их, в ближайшем будущем можно будет имитировать функции мозга [4]. Подобные мозгу вычислительные возможности обучающих сетей на основе мемристоров complex spike timing-dependent plasticity (STDP) продемонстрированы Afifi и соавторами [5].

Один мемристор вместо шести транзисторов

В микропроцессорах ячейка памяти емкостью 1 бит формируется шестью комплементарными транзисторами [6]. Они занимают большую площадь и требуют много энергопитания. А так, как считывание информации зависит от машинных тактов, то они сложны в работе. Для работы с большими базами данных необходима постоянная энергонезависимая память, которая должна отвечать следующим требованиям: компактность, мгновенный доступ, потребление малого колличества энергии. Во всем мире существует около 20 различных вариантов такой памяти, основанных на разных физических принципах. Один из них — память на основе диоксида кремния с измененным стехиометрическим составом. Диоксид кремния используется в микроэлектронике уже очень давно, и на данный момент стоит задача научиться делать новую энергонезависимую память на его основе, где на месте шести комплементарных транзисторов стоял бы один мемристор. Работа в этом направлении в результате обеспечит энергонезависимость [7], сократит площадь, и уменьшит время переключения при малом времени выборки — то есть увеличит скорость считывания информации. Но в реализации такого подхода есть много сложностей с точки зрения физики. К примеру, с точки зрения формирования проводимости в диоксиде кремния группа ученых, во главе с Красниковым Г..Я. провели серию работ, которые помогли вывести зависимость получаемого сопротивления от энергии формирования верхнего электрода. На основе полученных результатов видится возможность заменить существующие виды памяти с шестью комплементарными транзисторами на один мемристор, тем самым улучшив работу микропроцессоров.

Заключение

В ходе работы были рассмотрены особенности конструкции и оценены технические характеристики [8] мемристоров, также, отмечены особые свойства нового компонента, что позволяет сделать вывод о том, что мемристор может быть использован в качестве энергонезависимой памяти. Но потенциал мемристоров не ограничивается применением этой технологии [9] только для компьютеров с мгновенным включением. Мемристор также может быть использован для решения одной из самых грандиозных технологических задач: имитация функции головного мозга. В течение десятилетия мемристоры могут позволить нам эмулировать, а не просто моделировать сети нейронов и синапсов. Заменив несколько определенных транзисторов перемычкой из мемристоров, схема может быть уменьшена почти в 10 раз по площади и улучшена с точки зрения скорости относительно показателей энергопотребления. Схемы на основе мемристора могут быть использованы для создания искусственной

биологической системы, искусственного мозга. Также мемристор возможно применять в устройствах для шифрования изображений, определения возраста и многих других устройствах [10]. Это хорошо отражено в различных исследованиях, посвященных новому элементу, которые все чаще проводятся.

Литература

1. Dmitri B. Strukov, Gregory S. Snider, Duncan R. Stewart, and R. Stanley Williams. The missing memristor found. Nature, 453(7191):80–83, May 2008.
2. A.C. Torrezan, J.P. Strachan, G. Medeiros-Ribeiro, and R.S. Williams. Sub-nanosecond switching of a tantalum oxide memristor. Nanotechnology, 22(48):485203, 2011.
3. Sung H. Jo, Ting Chang, Idongesit Ebong, Bhavitavya B. Bhadviya, Pinaki Mazumder, and Wei Lu. Nanoscale Memristor Device as Synapse in Neuromorphic Systems. Nano Lett., 10(4):1297–1301, March 2010.
4. R. Williams. How we found the missing memristor. IEEE Spectr., 45(12):28–35, December 2008.
5. A. Afifi, A. Ayatollahi, and F. Raissi. Implementation of biologically plausible spiking neural network models on the memristor crossbar-based cmos/nano circuits. pages 563–566, 2009. cited By (since 1996).
6. Влияние верхней границы раздела на электрические характеристики ячеек резистивной памяти на основе pt / siox / tin. / Красников Г.Я. [и др.] // Наноиндустрия. – 2020. – Т. 13. - №99. – С. 246-248.
7. 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.
8. 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 // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2020, Svetlogorsk, 01–03 июля 2020 года. – Svetlogorsk, 2020. – P. 9166032.
9. Дризе, А. Д. Электродинамическое моделирование селекторов поляризаций с помощью программного комплекса CST Studio Suite / А. Д. Дризе, К. Н. Климов // Антенны. – 2020. – № 6(268). – С. 41-47.
10. Патент № 2766132 C1 Российская Федерация, МПК H01Q 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".

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ СКРЫТНЫХ ДЕФЕКТОВ НА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Нгуен К. Д., Долматов А.В, Лыу Н.Т., Во Т.Х., Борискина Д.О.
МИРЭА - Российский технологический университет
+79774809521, ngcongduc9x@gmail.com

Аннотация: многослойные печатные платы являются ключевыми компонентами электронных устройств. Однако в процессе производства могут возникать дефекты, которые не всегда можно обнаружить невооруженным глазом. Эти скрытые дефекты могут привести к неполадкам в работе устройств и даже к их выходу из строя. Поэтому разработка эффективных методов автоматического обнаружения таких дефектов имеет большое практическое значение. Метод опорных векторов (SVM) является мощным алгоритмом машинного обучения, который широко используется для решения задач классификации. В данной работе он применяется для обнаружения скрытных дефектов на многослойных печатных платах.

Ключевые слова: многослойная печатная плата, радиоэлектронные устройства, ультразвуковая волна, метод опорных векторов, скрытные дефекты, амплитудно- временные характеристики, амплитудно- частотные характеристики.

Application of the support vector method in the problem of classification of hidden defects on multilayer printed boards of radio-electronic devices. Nguyen C.D., Dolmatov A.B., Luu N.T., Bo T.H, MIREA - Russian Technological University.

Abstract: multilayer printed circuit boards are key components of electronic devices. However, during the manufacturing process, defects can occur that are not always visible to the naked eye. These hidden defects can cause devices to malfunction and even fail. Therefore, the development of efficient methods for the automatic detection of such defects is of great practical importance. Support Vector Machine (SVM) is a powerful machine

learning algorithm that is widely used to solve classification problems. In this work, it is used to detect latent defects on multilayer printed circuit boards.

Keywords: multilayer printed circuit board, radio electronic devices, ultrasonic wave, support vector machine, latent defects, amplitude-time characteristics, amplitude-frequency characteristics.

Введение

Ультразвуковой метод контроля и диагностики скрытых дефектов на многослойных печатных платах радиоэлектронных устройств на сегодняшний день представляет собой актуальный и современный способ исследования. Данный метод продемонстрировал высокую эффективность и скорость обнаружения дефектов, что в свою очередь способствует более эффективной работе инженеров и пользователей в процессе производства печатных плат. В данной статье применяем метод опорных векторов (алгоритм SVM) для классификации скрытых дефектов на многослойных печатных платах. Метод разбивается на следующие этапы:

- Моделирование многослойных печатных плат в различных состояниях (нормальное состояние и с появлением скрытых дефектов) при помощи специализированного программного обеспечения для моделирования ABAQUS;
- Получение изображений распространения ультразвуковых волн на МПП и извлечение амплитудно-временных характеристик технических состояний МПП с помощью пьезоэлектрического преобразователя, размещенного на плате (аналогично приемнику);
- Преобразование полученных характеристик в форму амплитудно-частотных характеристик с применением быстрого преобразования Фурье, одновременно создавая базу данных амплитудно-частотных характеристик технических состояний печатной платы;
- Использование созданной базы данных для обучения и тестирования алгоритма SVM, применяя специализированный язык программирования Python. Этот подход обеспечивает результаты классификации скрытых дефектов на МПП РЭУ.

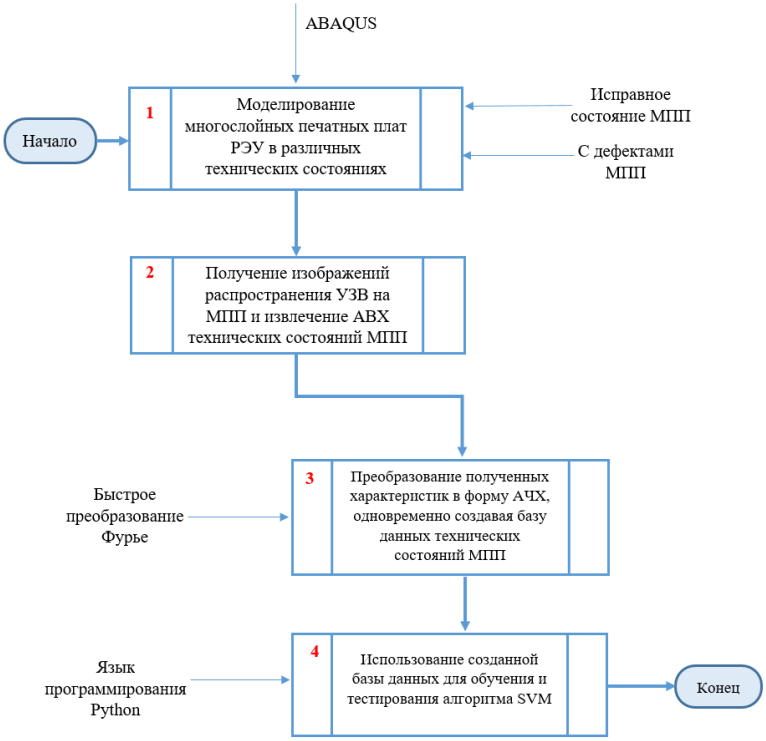


Рисунок 1 – Структура ультразвукого метода диагностики скрытных дефектов на МПП с применением алгоритма SVM.

Моделирование скрытных дефектов на МПП РЭУ

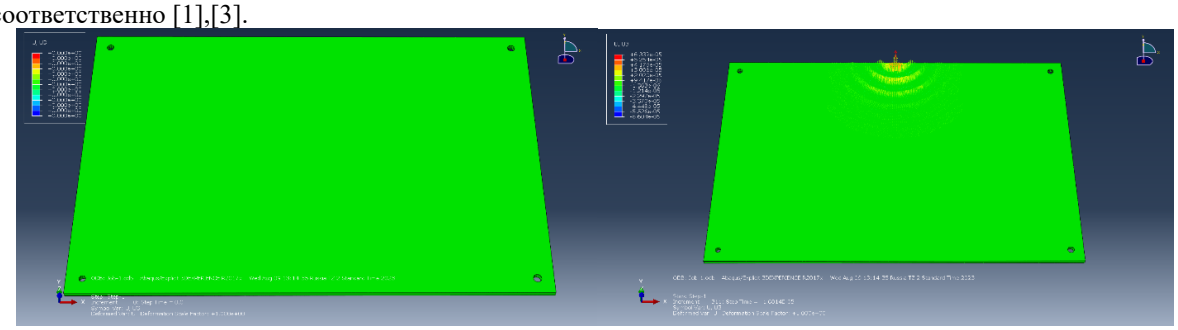
Для реализации ультразвукового метода диагностики скрытых дефектов на многослойных печатных платах имеет существенное значение не только выбор соответствующих ультразвуковых преобразователей, но и имитация источника ультразвуковой волны. На рисунке 2 наглядно продемонстрирован пьезоэлектрический преобразователь П121, где один из преобразователей, действующих как источник ультразвуковых волн с частотой 200 кГц, размещается на верхнем краю

печатной платы. В то же время другой преобразователь, выполняющий функцию приемника ультразвуковых волн, размещается на нижнем краю печатной платы.

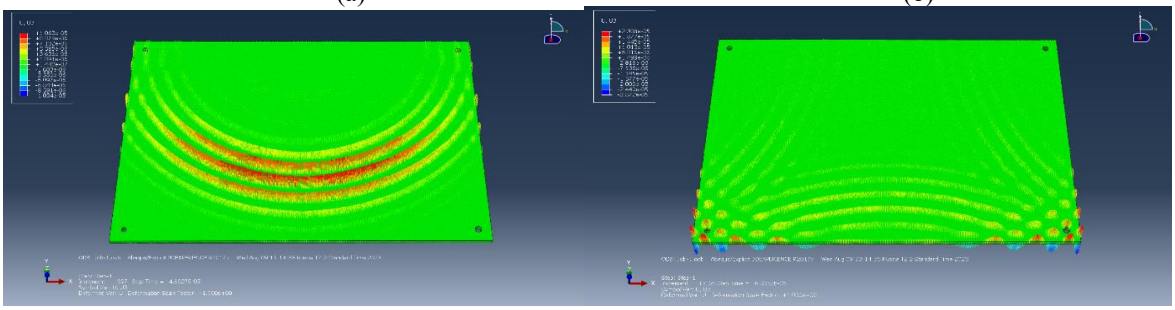


Рисунок 2 – Пьезоэлектрический преобразователь типа П121

С использованием программного комплекса для моделирования ABAQUS/Elipxit была выполнена модель ультразвукового источника с частотой 200 кГц, размещенного на двухслойной печатной плате, а также двухслойной печатной платы в исправном состоянии. На рисунке 3а показана модель двухслойной печатной платы в исправном состоянии. На рисунках 3б, 3в и 3г представлено изображение распространения ультразвуковых волн по двухслойной печатной плате в исправном состоянии. и распространение ультразвуковых волн в моменты времени t1= 16 мкс , t2= 48 мкс и t3= 68 мкс соответственно [1],[3].



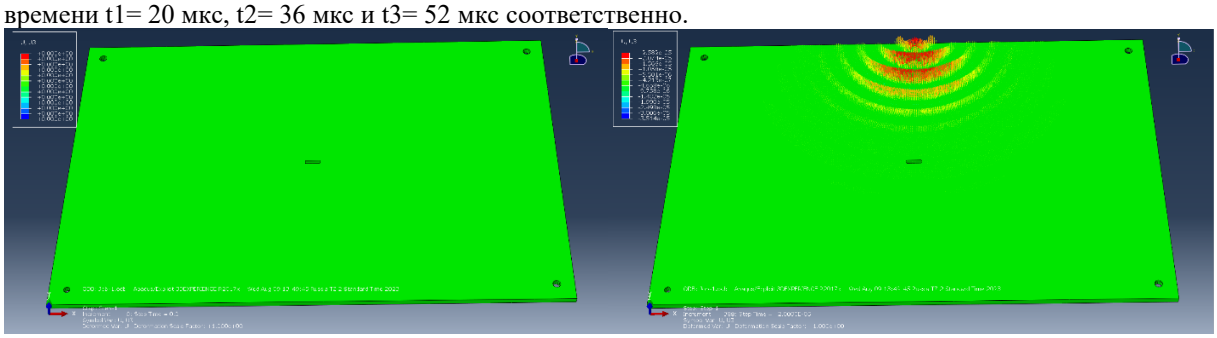
(а) (б)



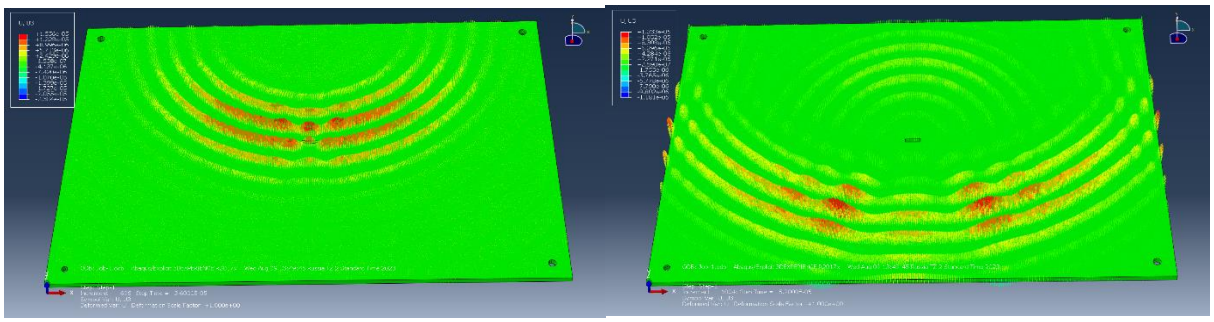
(в) (г)

Рисунок 3 – Многослойная печатная плата в исправном состоянии

Проведено моделирование двухслойной печатной платы с дефектом 1, представляющим собой расслоение [2], [4]. Данный дефект расположен в точке с координатами (x, y) = (60 мм, 40 мм) и имеет площадь S1 = 50 мм². На рисунке 4а представлена модель двухслойной печатной платы с дефектом 1. Рисунки 4б, 4в и 4г иллюстрируют распространение ультразвуковых волн по печатной плате в моменты времени t1= 20 мкс, t2= 36 мкс и t3= 52 мкс соответственно.



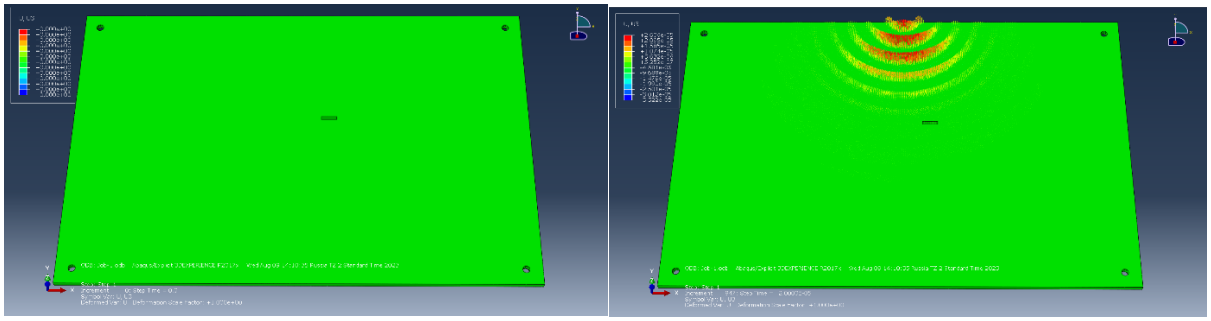
(а) (б)



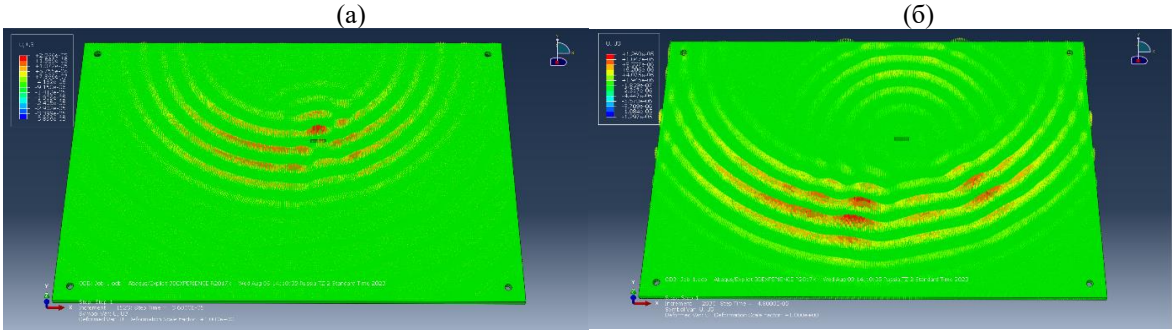
(в) (г)

Рисунок 4 – Многослойная печатная плата с дефектом 1

Моделирование двухслойной печатной платы с дефектом 2, представляющим собой расслоение. Данный дефект расположен в точке с координатами (x, y) = (65 мм, 35 мм) и имеет площадь S2 = 60 мм². На рисунке 5а представлена модель двухслойной печатной платы с дефектом 2. Рисунки 5б, 5в и 5г иллюстрируют распространение ультразвуковых волн по печатной плате в моменты времени t1= 20 мкс, t2= 36 мкс и t3= 48 мкс соответственно.



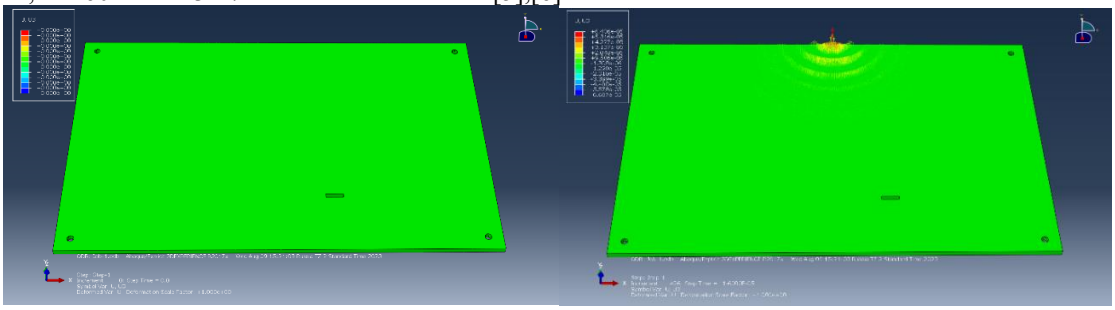
(а) (б)



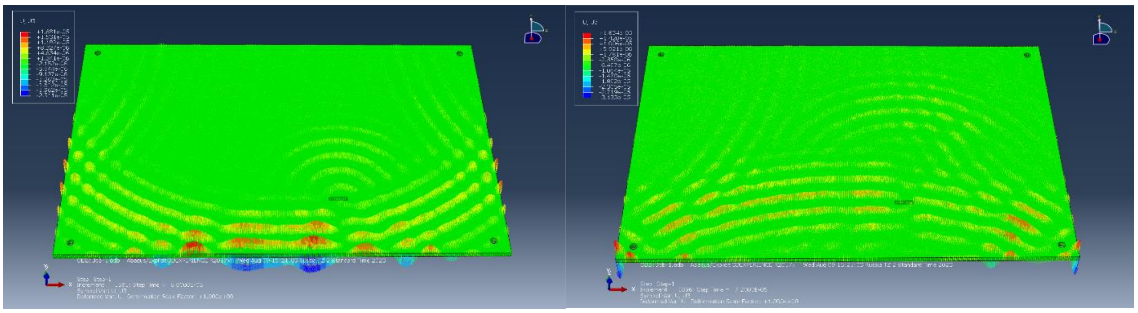
(в) (г)

Рисунок 5 – Многослойная печатная плата с дефектом 2

Проведено моделирование двухслойной печатной платы с дефектом 3, представляющим собой расслоение. Данный дефект расположен в точке с координатами (x, y) = (65 мм, 65 мм) и имеет площадь S3 = 65мм². На рисунке 6а представлена модель двухслойной печатной платы с дефектом 3. Рисунки 6б, 6в и 6г иллюстрируют распространение ультразвуковых волн по печатной плате в моменты времени t1= 16 мкс, t2= 60 мкс и t3= 72 мкс соответственно [5],[6].



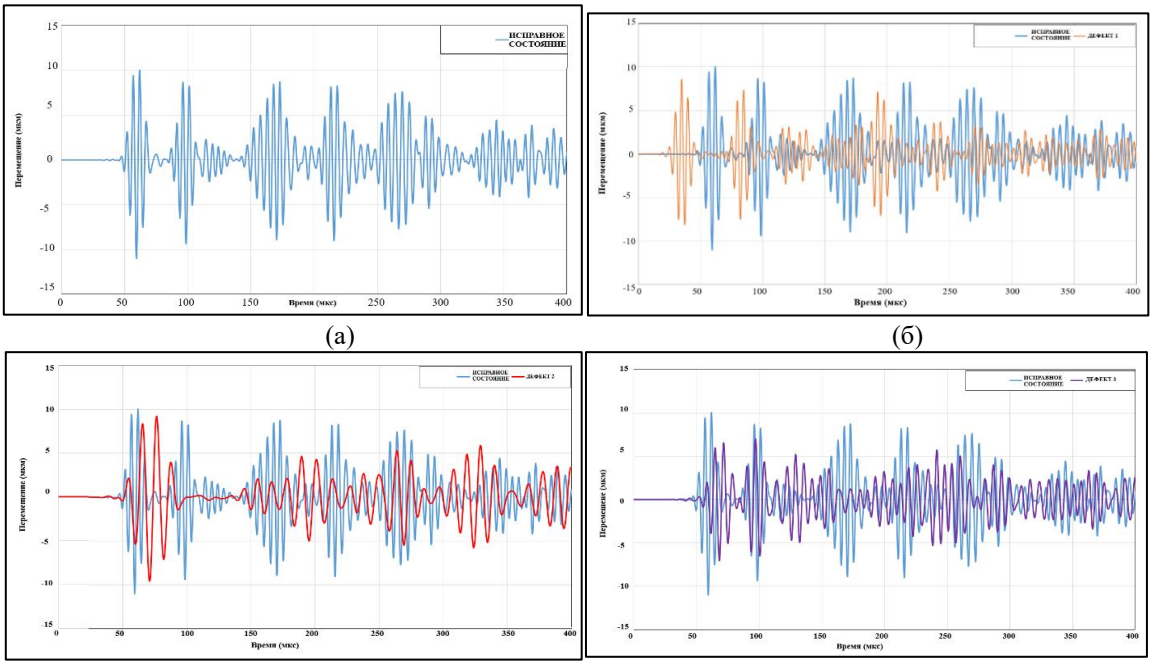
(а) (б)



(в) (г)

Рисунок 6 - Многослойная печатная плата с дефектом 3

Получены амплитудно-временных характеристик технических состояний двухслойной печатной платы. На рисунке 7а представлена амплитудно-временная характеристика процесса сбора данных на приемнике в исправном состоянии. Рисунок 7б демонстрирует амплитудно-временную характеристику двух состояний двухслойной печатной платы: исправного состояния и дефекта 1. Точно так же на рисунках 7в и 7г показаны аналогичные характеристики для исправного состояния и дефектов 2 и 3 соответственно.



(а) (б)

(в) (г)

Рисунок 7- Амплитудно-временные характеристики тс ДПП

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) – это алгоритм для вычисления дискретного преобразования Фурье (ДПФ) с меньшей вычислительной сложностью, чем прямое применение определения ДПФ [7], [8]. Он широко используется в обработке сигналов, анализе данных и многих других областях, где требуется анализ частотных характеристик сигналов (рис 8).

Преобразование Фурье преобразует временной сигнал в его частотное представление. Дискретное преобразование Фурье вычисляется по формуле:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[N].\, e^{-j2\pi kn/N}$$

где:

- X[k] - комплексный коэффициент частоты k в спектре
- x[n] - значение временного сигнала в дискретный момент времени n
- N - общее количество отсчетов временного сигнала
- j - мнимая единица

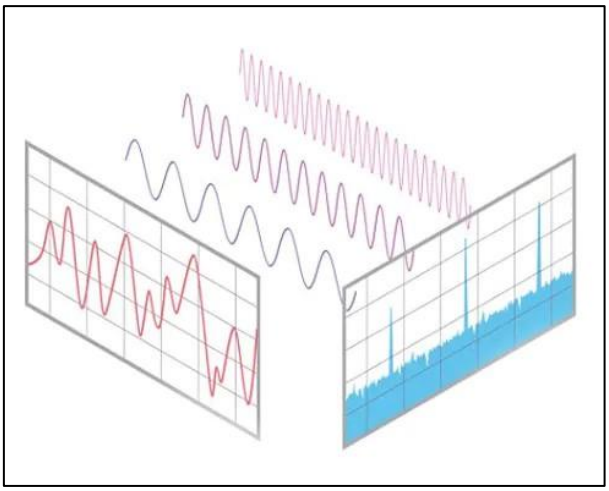


Рисунок 8 – Быстрое преобразование Фурье

Нормальное распределение, также известное как гауссовское распределение, является одним из наиболее важных и широко распространенных распределений в статистике и вероятностной теории [9], [10]. Оно описывает случайные переменные, значения которых распределены вокруг среднего значения, симметрично относительно этого среднего, образуя колоколообразную кривую (рис 9).

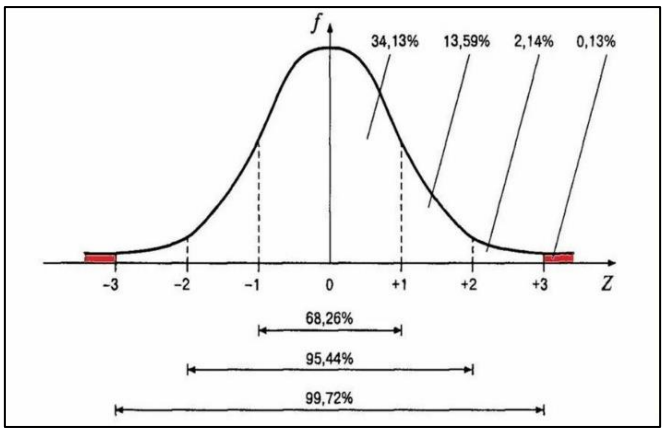


Рисунок 9 – Закон нормального распределения

Формула плотности вероятности для нормального распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

где: x - случайная переменная,
μ - среднее значение,
σ - стандартное отклонение,
π - число пи
e - число Эйлера.

После применения нормального распределения для генерации случайных чисел, мы получаем базу данных технических состояний двухслойной печатной платы, которая представлена в таблице 1.

Таблица 1 - База данных технических состояний ДПП.

	Частота	0	10	20	…	19830	19840	19850	…	24990	25000	ИНДЕКС
ИСПРАВНОЕ СОСТОЯНИЕ	1	0	1.30E-07	2.95E-07	…	0.000198	0.000199	0.000195	…	5.67E-08	3.99E-08	0
	2	0	1.35E-07	3.07E-07	…	0.000206	0.000207	0.000203	…	5.90E-08	4.15E-08	0
	3	0	1.29E-07	2.93E-07	…	0.000196	0.000198	0.000194	…	5.62E-08	3.95E-08	0
	4	0	1.26E-07	2.87E-07	…	0.000192	0.000194	0.000190	…	5.50E-08	3.87E-08	0
	5	0	1.30E-07	2.95E-07	…	0.000198	0.000199	0.000196	…	5.66E-08	3.98E-08	0
	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	1496	0	1.36E-07	3.08E-07	…	0.000207	0.000208	0.000204	…	5.92E-08	4.16E-08	0
	1497	0	1.29E-07	2.93E-07	…	0.000196	0.000197	0.000194	…	5.63E-08	3.96E-08	0
	1498	0	1.29E-07	2.92E-07	…	0.000203	0.000204	0.000201	…	5.61E-08	3.94E-08	0
	1499	0	1.33E-07	3.03E-07	…	0.000194	0.000195	0.000191	…	5.81E-08	4.09E-08	0
	1500	0	1.27E-07	2.89E-07	…	0.000197	0.000198	0.000194	…	5.55E-08	3.90E-08	0
ПРИ ПОЯВЛЕНИИ ДЕФЕКТОВ	1	0	1.52E-06	1.52E-06	…	0.000141	0.000156	0.000168	…	8.41E-07	8.57E-07	1
	2	0	1.51E-06	1.50E-06	…	0.000150	0.000166	0.000179	…	8.34E-07	8.50E-07	1
	3	0	1.65E-06	1.64E-06	…	0.000136	0.000150	0.000161	…	9.08E-07	9.25E-07	1
	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	1498	0	1.54E-06	1.53E-06	…	0.000154	0.000170	0.000183	…	8.47E-07	8.63E-07	1
	1499	0	1.54E-06	1.54E-06	…	0.000141	0.000141	0.000141	…	8.47E-07	8.47E-07	1
	1500	0	1.51E-06	1.50E-06	…	0.000139	0.000154	0.000166	…	8.33E-07	8.50E-07	1
	1501	0	1.54E-06	1.53E-06	…	0.000138	0.000153	0.000164	…	8.47E-07	8.63E-07	1
	1502	0	1.48E-06	1.47E-06	…	0.000143	0.000157	0.000169	…	8.14E-07	8.30E-07	1
	1503	0	1.49E-06	1.53E-06	…	0.000129	0.000142	0.000153	…	8.14E-07	8.29E-07	1
	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	2998	0	1.51E-06	1.54E-06	…	0.000140	0.000155	0.000166	…	8.37E-07	8.47E-07	1
	2999	0	1.54E-06	1.52E-06	…	0.000147	0.000162	0.000175	…	8.27E-07	8.57E-07	1
	3000	0	1.50E-06	1.51E-06	…	0.000145	0.000160	0.000172	…	8.17E-07	8.67E-07	1
	3001	0	1.53E-06	1.57E-06	…	0.000125	0.000138	0.000149	…	8.47E-07	8.40E-07	1
	3002	0	1.46E-06	1.55E-06	…	0.000138	0.000152	0.000163	…	8.46E-07	8.07E-07	1
	3003	0	1.54E-06	1.56E-06	…	0.000138	0.000153	0.000164	…	8.07E-07	8.47E-07	1
	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	4998	0	1.50E-06	1.58E-06	…	0.000148	0.000163	0.000175	…	8.44E-07	8.56E-07	1
	4499	0	1.57E-06	1.55E-06	…	0.000134	0.000148	0.000160	…	8.50E-07	8.77E-07	1
	4500	0	1.54E-06	1.64E-06	…	0.000143	0.000158	0.000170	…	8.21E-07	8.47E-07	1

ДЕФЕКТ 1

ДЕФЕКТ 2

ДЕФЕКТ 3

Результат применения алгоритма SVM в диагностировании скрытных дефектов на МПП РЭУ

Метод опорных векторов (SVM, Support Vector Machine) – это алгоритм машинного обучения, который применяется для задач классификации и регрессии [11], [12]. Основная идея SVM заключается в поиске оптимальной гиперплоскости, которая бы разделяла данные разных классов максимально широко (в случае классификации) или минимизировала ошибку регрессии (рис 10).

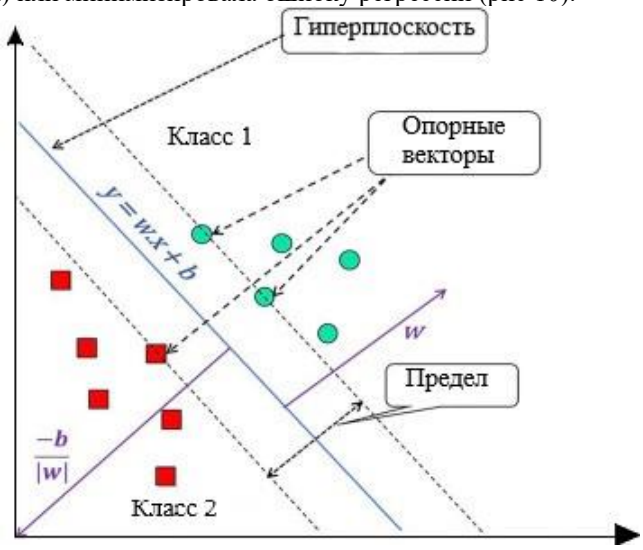


Рисунок 10 – Алгоритм SVM в задаче классификации

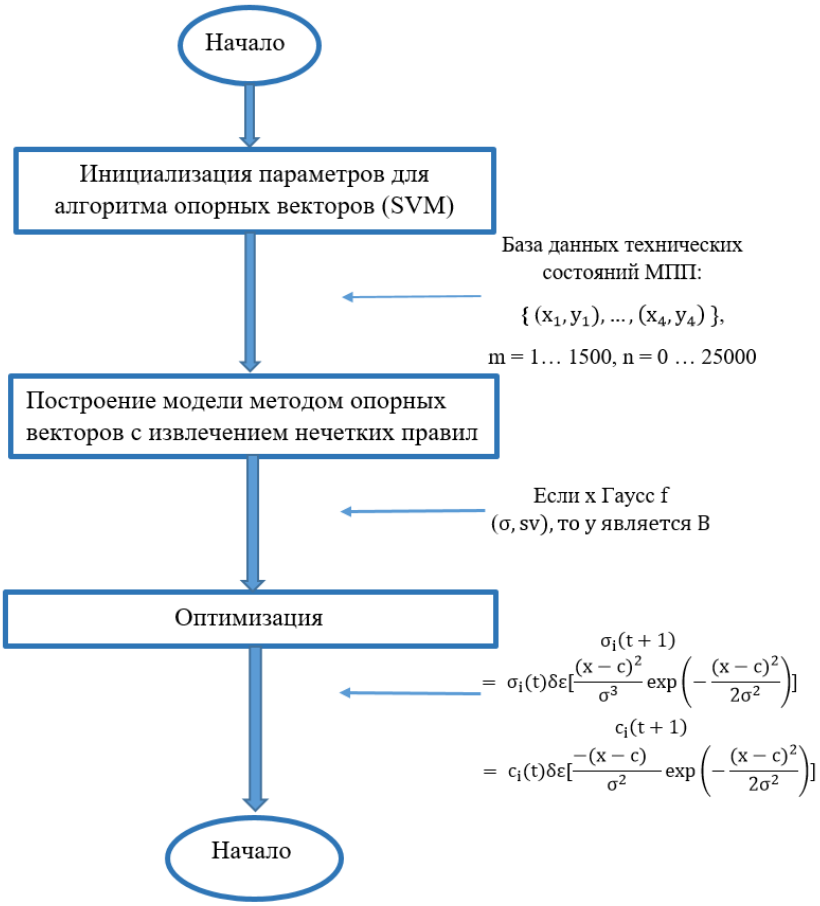
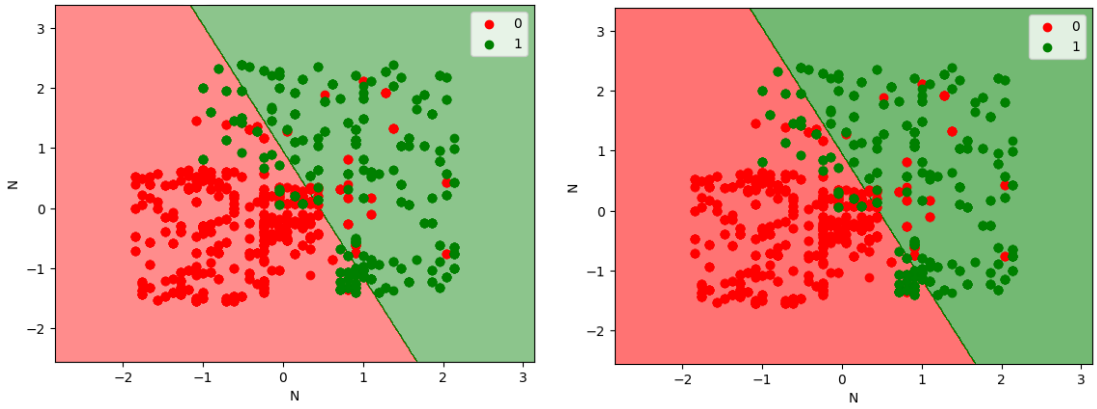


Рисунок 11 – Этапы реализации алгоритма SVM

Основные шаги алгоритма SVM (рис 11):

1. Выбор модели: SVM работает путем поиска оптимальной гиперплоскости, которая максимизирует отступ (расстояние) между классами данных.
2. Выбор функции потерь: Основной идеей является минимизация ошибки классификации и одновременное максимизация отступа между классами.
3. Оптимизация: Задача сводится к оптимизационной задаче, в которой минимизируется функция потерь с добавлением регуляризации. Регуляризация помогает управлять сложностью модели и предотвращает переобучение.
4. Поиск гиперплоскости: Путем решения оптимизационной задачи SVM находит гиперплоскость, которая максимально разделяет классы. Эта гиперплоскость проходит через точки, называемые опорными векторами, которые находятся ближе всего к гиперплоскости.
5. Ядерный трюк: В случаях, когда данные не могут быть линейно разделены в исходном пространстве, SVM использует ядерный трюк, который позволяет проецировать данные в более высокомерное пространство с помощью функций ядра.
6. Принятие решений: После обучения модели SVM может классифицировать новые данные, определяя, с какой стороны гиперплоскости они находятся.

На рисунке 12а отражены результаты классификации технических состояний ДПП с использованием обучающей выборки алгоритма SVM. На рисунке 12б представлены результаты классификации технических состояний этой же ДПП по тестовой выборке алгоритма SVM. Результаты классификации технического состояния ДПП, показавшие точность свыше 97%, представлены на рисунке 12в.



(а) (б)

```
print('Acccuracy: %.2f%%' %(100*accuracy_score(y_test,y_pred)))
Acccuracy: 97.48%
```

(в)

Рисунок 12 – Результат классификации технических состояний ДПП с применением алгоритма SVM

Заключение

Таким образом, с использованием специализированного программного комплекса для моделирования ABAQUS/ELIPXIT была разработана модель многослойной печатной платы в разнообразных технических состояниях, включая как исправное состояние, так и состояния с дефектами расслояния. Параллельно, был осуществлен полный характеристический анализ процесса излучения ультразвуковых волн от 200кГц ультразвукового преобразователя на печатной плате. Это предоставляет необходимую основу для исследования проявления дефектов на МПП.

Был проведен анализ акустического сигнала, полученного в различных технических состояниях печатной платы. Эти данные послужили основой для построения баз данных технических состояний печатных плат, который был использован для обучения и тестирования алгоритмов машинного обучения SVM.

Благодаря применению языка программирования Python с акцентом на специализированные библиотеки, стало возможным классифицировать техническое состояние МПП. Этот процесс демонстрирует высокую точность, достигая более 97% на этапах обучения и тестирования модели. Такой подход существенно способствует оперативному обнаружению дефектов и последующему их устранению в процессе производства печатных плат.

Литература

1. Начало работы с Abaqus: интерактивное издание. Дэвида А. Дурелли, Майкла Л. Мэйса, Томаса Ф. Питерса, Джанкарло Альфано.
2. Руководство пользователя Abaqus.
3. Руководство по примерам задач Abaqus.
4. Введение в анализ методом конечных элементов с использованием MATLAB и Abaqus" Амара Хеннана.
5. Abaqus для инженеров: практическое учебное пособие» Саида Моавени.
6. Нелинейный конечно-элементный анализ твердых тел и структур», Рене де Борст, Майк А. Крисфилд, Джорис Дж. К. Реммерс, Клеменс В. Верхоозел.
7. Scikit-learn: https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html
8. LIBSVM: https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/
9. Support Vector Machines" by Cristianini and Shawe-Taylor.
10. Learning with Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond" by Schölkopf and Smola.
11. Pattern Recognition and Machine Learning" by Bishop (глава 7 посвящена SVM).
12. Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms" by Shai Shalev-Shwartz and Shai Ben-David (глава 15 содержит материал о SVM).

РЕАЛИЗАЦИЯ БЛОКА РАСЧЕТА КОНТРОЛЬНОЙ СУММЫ CRC-32 НА ПЛИС

Павлов П.Д.
РТУ МИРЭА

Статья посвящена разработке блока расчета контрольной суммы CRC-32 для Ethernet 1000Base-T. Основной проблемой, с которой сталкивается разработчик при реализации на ПЛИС практически любого из существующих интерфейсов передачи данных является необходимость в реализации расчета конкретной CRC, которая используется в реализуемом интерфейсе. Другой проблемой при реализации расчете CRC является то, что они должны рассчитываться в тот же самый такт, как были получены данные.

Ключевые слова: реализация, параллельная, контрольная сумма, циклический избыточный код, ПЛИС.

Implementation of the block for calculation CRC-32 checksum on FPGA. Pavlov P.D. RTU MIREA.

The paper is devoted to the development of a block for calculating the CRC-32 checksum for Ethernet 1000Base-T. The main problem that a developer faces when implementing almost any of the existing data transfer interfaces on an FPGA is the need to implement the calculation of a specific CRC that is used in the implemented interface. Another problem with implementing CRC calculation is that they must be calculated in the same cycle as the data was received.

Keywords: implementation, parallel, checksum, cyclic redundancy check, FPGA.

Введение

Стремительное развитие телекоммуникационный систем и технологий способствовало появлению разнообразных стандартов передачи данных, которые включают в себя описания как интерфейсов, так и протоколов передачи данных. Однако, каким бы продвинутым не был стандарт, в них всех присутствует один недостаток, а именно вероятность повреждения данных при передаче. С целью преодоления данного недостатка были разработаны методы обнаружения и коррекции ошибок передачи данных.

Одним из самых широко используемых методов является использование циклических избыточных кодов (CRC). Данные коды используется для того, чтобы убедиться в целостности данных при помощи обнаружения ошибок передачи. Данный метод нашел широкое применения как при передаче данных (Ethernet, USB, PCI, CAN и т.д.), так и при хранении данных (HDD, SSD, SD-карты, CD, DVD, Blue-ray и т.д.).

Понятие циклического избыточного кода

CRC (Cyclic redundancy check, циклический избыточный код) – это алгоритм нахождения контрольной с целью проверки целостности передаваемых данных.

При вычислении CRC порождающий многочлен, входное сообщение и его контрольная сумма (CRC) представляются полиномами. Пусть g(x) порождающий многочлен степени k и m(x) это m-битное сообщение. Чтобы рассчитать контрольную сумму сообщения m(x) сначала необходимо умножить это сообщение на x^k, в результате чего это дополнит исходное сообщение k-битами, заполненными нулями. После этого полученное сообщение делится на порождающий многочлен g(x). В результате деления получается частное q(x) и остаток от деления r(x). Получившийся остаток от деления является контрольной суммой (CRC) сообщения m(x) [1].

Вычисление контрольной суммы происходит в поле Галуа 2-го порядка, или же GF(2). Как известно, в GF(2) сложение и вычитание эквивалентны сумме по модулю 2 (XOR), а умножение эквивалентно логическому И (AND) [1]. Вычисление CRC может быть представлено следующим уравнением:

$$\frac{x^k m(x)}{g(x)} = q(x) \oplus \frac{r(x)}{g(x)} \quad (1)$$

Так как сложение и вычитание в GF(2) представляют собой XOR, то, уравнение (1) можно представить в следующем виде:

$$x^k m(x) \oplus r(x) = q(x)g(x) \quad (2)$$

Причем, степень остаточного полинома r(x) всегда меньше степени порождающего полинома [1]. В левой части уравнения (2) представлено исходное сообщение с добавленной в его конец контрольной суммой (CRC). Также, из этого уравнения видно, что $x^k m(x) \oplus r(x)$ делится без остатка на порождающий многочлен g(x).

Вышеописанное свойство используется при получении сообщений принимающей стороной. Переданное сообщение $x^k m(x) \oplus r(x)$ делится принимающей стороной на g(x) Если в результате этого деления получается нулевой остаток, тогда считается, что сообщение принято корректно, если остаток от деления не нулевой, тогда считается, что сообщение повреждено при передаче [1].

Классификация алгоритмов CRC

Одной из важнейших характеристик CRC можно считать порождающий полином. Другим же параметром является степень этого полинома, которая показывает, сколько бит необходимо для вычисления CRC.

Существует огромное количество стандартизованных CRC алгоритмов, которые используются в различных стандартах. Данные стандартизованные CRC как правило отличаются порождающим многочленом, а также его степенью. Помимо этого, CRC также могут иметь различия в алгоритмах своего вычисления.

Для того, чтобы упорядочить, и описать стандартизованные алгоритмы CRC, компанией Rocksoft была разработана и предложена параметрическая модель данных алгоритмов [2]. В предложенной модели выделяют 8 параметров:

- Name – имя конкретной реализации CRC;
- Width – длинна алгоритма;
- Poly – порождающий многочлен (представляется в 16-ричном виде)
- Init – начальное значение регистров, в которых хранится значение CRC на момент начала вычисления;
- RefIn – логический параметр, если он имеет значение True, то байты сообщения оборачиваются (байты обрабатываются в порядке с 0 бита до 7бита), если False, то байты сообщения обрабатываются с 7 бита до 0 бита;
- RefOut – логический параметр, если True, то рассчитанное значение CRC оборачивается в двоичном виде, если значение False, то значение CRC передаются на следующий шаг (XorOut) без изменений;
- XorOut – шестнадцатеричное число, которое при помощи XOR комбинируется со значением полученным после RefOut;
- Check – поле, в котором хранится контрольное значение для проверки правильности реализации алгоритма (содержит контрольную сумму, рассчитанную для ASCII строки "123456789").

Ниже приведена таблица, в которой представлены некоторые из стандартных CRC:

Таблица 1 –Некоторые стандартные CRC.

Name	Width	Poly	Init	RefIn	RefOut	XorOut	Check
CRC-5/USB	5	0x5	0x1F	True	True	0x1F	0x19
CRC-8/ WCDMA	8	0x9B	0x0	True	True	0x0	0x25
CRC-16/USB	16	0x8005	0xFFFF	True	True	0xFFFF	0xB4C8
CRC-32/zlib	32	0x04C11DB7	0xFFFFFFFF	true	true	0xFFFFFFFF	0xCBF43926

Контрольная сумма CRC в Ethernet

Спецификация Ethernet представлена в стандарте IEEE 802.3. Данный стандарт описывает, как как интерфейсы передачи, так и используемые протоколы нижнего уровня (канального). В соответствии с данным стандартом, расчет контрольной суммы происходит на подуровне MAC (media access control, управление доступом к среде), а также на данном подуровне происходит формирование пакета, передаваемого по сети.

В соответствии со стандартом, в селях Ethernet используется CRC-32. Расчет контрольной суммы происходит с использованием следующего порождающего многочлена:

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1 . \quad (3)$$

Способы аппаратная реализация вычисления CRC

При аппаратной реализации расчетов контрольной суммы обычно используют несколько способов расчета: способ, основанный на сдвиговых регистрах с линейной обратной связью (LFSR) [3], или табличный алгоритм [2].

Существует две возможных архитектуры реализации расчета CRC на сдвиговых регистрах (LFSR), они приведены на рисунках 1 и 2.

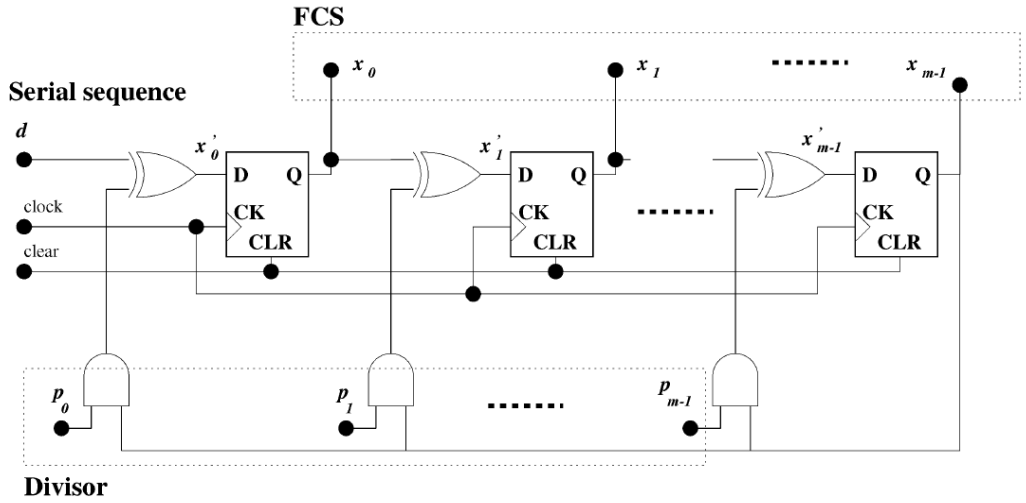


Рисунок 1 – Архитектура LFSR

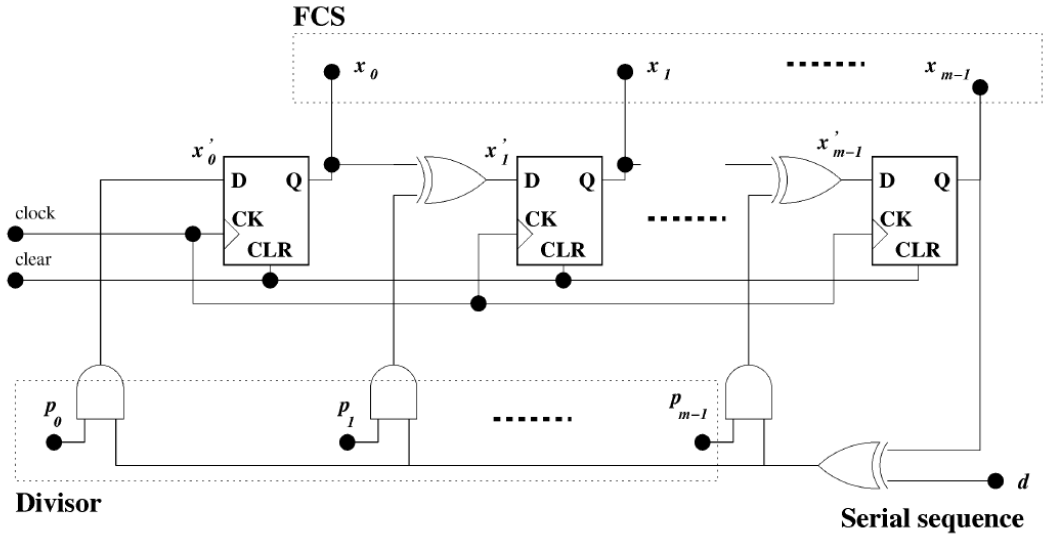


Рисунок 2 – Архитектура LFSR2

Недостатком данных архитектур является то, что для вычисления контрольной суммы с помощью этих методов потребуется гораздо большее число тактов по сравнению с табличным методом. Например, для реализации на рисунке 1, потребуется m+k тактов, где m – число бит в передаваемом кадре, k – количество бит контрольной суммы. Для архитектуры, представленной на рисунке 2 потребуется k тактов.

Табличный же алгоритм позволяет параллельно обрабатывать несколько бит передаваемого кадра за одну операцию. Более подробно о работе этого алгоритма написано в [2], в рамках данной статьи табличный алгоритм рассмотрен лишь для сравнения. Основным недостатком табличного алгоритма, по сравнению с реализацией расчета при помощи сдвиговых регистров, является то, что необходимо хранить заранее рассчитанную таблицу, при этом, размер таблицы прямо пропорционален длиннее контрольной суммы и количеству параллельно обрабатываемых бит за одну операцию. Например, при расчете контрольной суммы CRC-32 по 32 бита за операцию размер таблицы будет равен 16 Гбит [4], что выходит за все доступные ресурсы даже самых продвинутых ПЛИС. При использовании же LFSR и LFSR2 дополнительной памяти не требуется вовсе.

Параллельно реализация вычисления CRC

Существует также другой метод, иногда его называют матричным (F-matrix), он является дальнейшим развитием LFSR и LFSR2 методов. Данный метод подробно описан в статье [3].

Основным преимуществом данного метода является то, что, как и в табличном алгоритме, в матричном методе за одну операцию обрабатывается несколько бит передаваемого кадра, при этом нет необходимости хранить дополнительные данные.

Для начала введем следующие обозначения:

$M = \{d_0, d_1, \cdots d_{m-1}\}$, где m – длина сообщения;

$P = \{p_0, p_1, \cdots p_k\}$, где k – старшая степень полинома.

Данный метод расчета является итерационным. Суть данного метода можно описать следующими уравнениями (4) и (5). Уравнение (4) описывает расчет с использованием архитектуры LFSR.

$$X' = F^{\omega} \otimes X \oplus D, \tag{4}$$

где $X' = \begin{bmatrix} x'_{k-1} & \cdots & x'_1 & x'_0 \end{bmatrix}^T$ – новые значения регистров;

$$F = \begin{bmatrix} p_{k-1} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ p_{k-2} & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_1 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ p_0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix};$$

ω – количество бит кадра, обрабатываемых за одну операцию;

$X = \begin{bmatrix} x_{k-1} & \cdots & x_1 & x_0 \end{bmatrix}^T$ – текущие значения регистров;

$D = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & 0 \mid d_{\omega-1} & \cdots & d_0 \end{bmatrix}^T$ – входная порция данных;

Уравнение же (5) описывает архитектуру LFSR2

$$X' = F^{\omega} \otimes (X \oplus D), \tag{5}$$

где $X' = \begin{bmatrix} x'_{k-1} & \cdots & x'_1 & x'_0 \end{bmatrix}^T$ – новые значения регистров;

$$F = \begin{bmatrix} p_{k-1} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ p_{k-2} & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_1 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ p_0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix};$$

ω – количество бит кадра, обрабатываемых за одну операцию;

$X = \begin{bmatrix} x_{k-1} & \cdots & x_1 & x_0 \end{bmatrix}^T$ – текущие значения регистров;

$D = \begin{bmatrix} d_{\omega-1} & \cdots & d_0 \mid 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}^T$ – входная порция данных.

Реализация расчета CRC для Ethernet

Как уже ранее говорилось, в Ethernet используется CRC-32, его порождающий многочлен представлен в (3). В соответствии со стандартом IEEE 802.3, при передаче данных по стандарту Ethernet 1000Base-T, данные поступают по 8 бит за такт, следовательно, при реализации CRC-32 необходимо обрабатывать эти самые 8 бит за такт. Тогда, в (4) и (5) ω=8.

Для реализации была выбрана архитектура LFSR2, так как она позволяет вычислять конечное значение CRC-32 за наименьшее количество тактов. Следовательно, подставив в (5) значение порождающего многочлена (3), а также количество обрабатываемых за такт бит (ω=8). Получим формулу, по которой можно реализовать блок расчета CRC.

На рисунке 1 представлен код, написанный на языке Verilog и описывающий блок параллельного расчета (по 8 бит за такт) CRC-32. В данном модуле входы и выходы имеют следующие назначения:

– clk – вход для тактовых импульсов;
– data – 8-битный вход, для порции обрабатываемых данных;
– crc_en – вход разрешения работы модуля;
– crc_rst – вход асинхронного сброса;
– crc_out – 32-битный выход для рассчитанного значения контрольной суммы.

```
module crc32(
    input clk,
    input [7:0] data,
    input crc_en,
    input crc_rst,
    output [31:0] crc_out
);
    reg [31:0] crc_new, crc_old;

    assign crc_out = crc_old;
    always @(*) begin
        new_crc[31] = old_crc[23]^old_crc[29]^data[5];
        new_crc[30] = old_crc[22]^old_crc[28]^old_crc[31]^data[4]^data[7];
        new_crc[29] = old_crc[21]^old_crc[27]^old_crc[30]^old_crc[31]^data[3]^data[6]^data[7];
        new_crc[28] = old_crc[20]^old_crc[26]^old_crc[29]^old_crc[30]^data[2]^data[5]^data[6];
        new_crc[27] = old_crc[19]^old_crc[25]^old_crc[28]^old_crc[29]^old_crc[31]^data[1]^data[4]^data[5]^data[7];
        new_crc[26] = old_crc[18]^old_crc[24]^old_crc[27]^old_crc[28]^old_crc[30]^data[0]^data[3]^data[4]^data[6];
        new_crc[25] = old_crc[17]^old_crc[26]^old_crc[27]^data[2]^data[3];
        new_crc[24] = old_crc[16]^old_crc[25]^old_crc[26]^old_crc[31]^data[1]^data[2]^data[7];
        new_crc[23] = old_crc[15]^old_crc[24]^old_crc[25]^old_crc[30]^data[0]^data[1]^data[6];
        new_crc[22] = old_crc[14]^old_crc[24]^data[0];
        new_crc[21] = old_crc[13]^old_crc[29]^data[5];
        new_crc[20] = old_crc[12]^old_crc[28]^data[4];
        new_crc[19] = old_crc[11]^old_crc[27]^old_crc[31]^data[3]^data[7];
        new_crc[18] = old_crc[10]^old_crc[26]^old_crc[30]^old_crc[31]^data[2]^data[6]^data[7];
        new_crc[17] = old_crc[9]^old_crc[25]^old_crc[29]^old_crc[30]^data[1]^data[5]^data[6];
        new_crc[16] = old_crc[8]^old_crc[24]^old_crc[28]^old_crc[29]^data[0]^data[4]^data[5];
        new_crc[15] = old_crc[7]^old_crc[27]^old_crc[28]^old_crc[29]^old_crc[31]^data[3]^data[4]^data[5]^data[7];
        new_crc[14] = old_crc[6]^old_crc[26]^old_crc[27]^old_crc[28]^old_crc[30]^old_crc[31]^data[2]^data[3]^data[4]^data[6]^data[7];
        new_crc[13] = old_crc[5]^old_crc[25]^old_crc[26]^old_crc[27]^old_crc[29]^old_crc[30]^old_crc[31]^data[1]^data[2]^data[3]^data[5]^data[6]^data[7];
        new_crc[12] = old_crc[4]^old_crc[24]^old_crc[25]^old_crc[26]^old_crc[28]^old_crc[29]^old_crc[30]^data[0]^data[1]^data[2]^data[4]^data[5]^data[6];
        new_crc[11] = old_crc[3]^old_crc[24]^old_crc[25]^old_crc[27]^old_crc[28]^data[0]^data[1]^data[3]^data[4];
        new_crc[10] = old_crc[2]^old_crc[24]^old_crc[26]^old_crc[27]^old_crc[29]^data[0]^data[2]^data[3]^data[5];
        new_crc[9] = old_crc[1]^old_crc[25]^old_crc[26]^old_crc[28]^old_crc[29]^data[1]^data[2]^data[4]^data[5];
        new_crc[8] = old_crc[0]^old_crc[24]^old_crc[25]^old_crc[27]^old_crc[28]^data[0]^data[1]^data[3]^data[4];
        new_crc[7] = old_crc[24]^old_crc[26]^old_crc[27]^old_crc[29]^old_crc[31]^data[0]^data[2]^data[3]^data[5]^data[7];
        new_crc[6] = old_crc[25]^old_crc[26]^old_crc[28]^old_crc[29]^old_crc[30]^old_crc[31]^data[1]^data[2]^data[4]^data[5]^data[6]^data[7];
        new_crc[5] = old_crc[24]^old_crc[25]^old_crc[27]^old_crc[28]^old_crc[29]^old_crc[30]^old_crc[31]^data[0]^data[1]^data[3]^data[4]^data[5]^data[6]^data[7];
        new_crc[4] = old_crc[24]^old_crc[26]^old_crc[27]^old_crc[28]^old_crc[30]^data[0]^data[2]^data[3]^data[4]^data[6]^;
        new_crc[3] = old_crc[25]^old_crc[26]^old_crc[27]^old_crc[31]^data[1]^data[2]^data[3]^data[7];
        new_crc[2] = old_crc[24]^old_crc[26]^old_crc[27]^old_crc[30]^old_crc[31]^data[0]^data[1]^data[2]^data[6]^data[7];
        new_crc[1] = old_crc[24]^old_crc[25]^old_crc[30]^old_crc[31]^data[0]^data[1]^data[6]^data[7];
        new_crc[0] = old_crc[24]^old_crc[30]^data[0]^data[6]^;
    end

    always @(posedge clk, posedge crc_rst) begin
        if (crc_rst) crc_old <= {32{1'b1}};
        else crc_old  <= crc_en ? crc_new : crc_old;
    end
endmodule
```

Рисунок 1 – Программный код модуля расчета CRC32 на языке Verilog.

Заключение

В заключении стоит отметить, что в результате тестирования удалось убедиться в том, что реализация блока расчета CRC-32, приведенная в данной статье функционирует правильно, следовательно данный блок можно использовать для реализации Ethernet средствами ПЛИС. Также стоит отметить, что при помощи методики описанной в данной статье и в [3] возможно реализовать как CRC-32 для Ethernet 10GBase-T, в котором данные поступают по 32 бита за такт, так и другие стандарты CRC, например CRC-5, который нашел свое применение в интерфейсе USB

Литература

1. Pokhriyal N. The CRC code generator for large data blocks / Masaryk University. – Pune, 2018. – 60 p.
2. http://www.ross.net/crc/download/crc_v3.txt (дата обращения: 05.06.2023).
3. Campobello G. Parallel CRC Realization // IEEE transactions on computers. – 2003. – Vol. 52, №10. – p.1312-1319.
4. Мальчуков А. Н., Осокин А.Н. Быстрое вычисление контрольной суммы CRC: таблица против матрицы // Прикладная информатика. – 2010. – №26. – с.58-63.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Панкратова Т.А.
НИУ Московский Авиационный Институт, Москва, Россия
taisa.pankratova@yandex.ru

Рассмотрены покрытия, обеспечивающие надёжность различных электронных устройств и изделий, которые работают под воздействием повышенных температурных условий и влажности, а также химических, биологических, и иных факторов. Проанализирован набор материалов, используемых в качестве защитных покрытий. Рассмотрен процесс нанесения полимерных защитных покрытий на поверхности материалов с использованием газовых смесей при пониженном давлении.

Ключевые слова: Поли-пара-ксилиленовые покрытия, влагозащита.

Prospective polymer coatings analysis. Pankratova T. A., NRU Moscow Aviation Institute

Coatings that ensure the reliability of various electronic devices and products that operate under the influence of elevated temperature conditions and humidity, as well as chemical, biological, and other factors are considered. The set of materials used as protective coatings is analyzed. The process of applying polymer protective coatings on the surface of materials using gas mixtures at reduced pressure is considered.

Keywords: Poly-para-xylylene coatings, moisture protection.

Введение

На сегодняшний день существует множество материалов, которые используются для защиты изделий от воздействия внешних факторов. Одним из наиболее важных факторов является защита от повышенной влажности и температуры, биологических, химических и других вредных факторов.

В данной статье проведён анализ существующих материалов, используемых для защиты изделий. Учитывая то, что изделия часто используются в условиях высокой влажности, необходимо обеспечить защиту от коррозии и других негативных процессов, вызванных влиянием окружающей среды. Другим важным видом защиты является защита от биологических и химических воздействий. Материалы, обладающие способностью защищать изделия от бактерий, грибков и других микроорганизмов, а также от химических реакций, пользуются большим спросом на рынке.

Рассмотрены и другие виды материалов, используемые для защиты изделий от внешних вредных факторов. Важно отметить, что выбор конкретного материала зависит от характеристик изделия, его предполагаемого использования и условий эксплуатации.

Полимерные покрытия отличаются своей экономичностью и представляют собой плёнку, предохраняющую изделия, электронные устройства и компоненты [1-10] от воздействия агрессивной среды. Лаковые покрытия, в состав которых входят эпоксидные смолы, широко использовались для обеспечения влагозащиты. В связи с развитием современной высокоинтегрированной элементной базы, применение лаковых покрытий теряет свою актуальность. В дальнейшем возможен полный отказ от применения лаковых покрытий.

Актуальность данной работы связана с необходимостью использовать перспективные покрытия для защиты изделий от внешних факторов окружающей среды, таких как влага, повышенная температура, пыль, отпечатки пальцев, загрязнения, химические и механические воздействия. Полимерные покрытия наиболее экономичны и метод их нанесения покрытий менее трудоёмкий.

Постановка задач

Необходимо:

- провести анализ материалов, служащих защитой для изделий, использующихся в условиях агрессивной среды, - таких как повышенная температура и влажность, биологические и химические факторы;
- рассмотреть процесс формирования покрытия на изделии.

Выбор покрытий для защиты РЭА и электронных устройств обусловлен технической и экономической оценкой научных исследований, позволяющих определить оптимальную толщину покрытия и способ его нанесения на поверхность. Это позволяет обеспечить высокую надёжность и безотказность работы устройства, а также снизить затраты на его производство.

Решение

Покрытия на основе лаков УР-231, ЭП-9114, ЭП-730, разработанные специализированными научными лабораториями, успешно применялись в течение нескольких десятилетий в РЭА различного назначения. Однако, такие покрытия имеют существенные недостатки:

- токсичность производства при использовании лаков;
- пожаро- и взрывоопасность (наличие растворителей);
- неэкологичность производства нанесения лаковых покрытий;
- не обеспечивается сплошность и равномерность по толщине покрытия на сложнопрофильной поверхности электронного узла;
- низкий технический уровень методов нанесения лаковых покрытий (с помощью кисти, окунанием, поливом);
- затекание лака в гнёзда угловых розеток при нанесении этого типа покрытия;
- низкая ремонтопригодность из-за большой толщины покрытия.

В отличие от лаковых покрытий, технология нанесения поли-n-ксилиленовых покрытий полностью исключает все приведённые причины выхода из строя элементов. Основные эксплуатационные свойства покрытий приведены в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1 – Свойства покрытий

Параметры	Значения параметров				
	УР-231	ЭП-9114	ЭП-730	ППКП	ПХПКП
Электрическая прочность, кВ/мм, не менее	130	135	120	260	145
Удельное объёмное сопротивление, Ом·см при 50% φ	2·1015	4,7·1015	1,5·1015	10^{17}	10^{16}
Диэлектрическая проницаемость, Ф/м 106 Гц	3,3	3,4	3,5	2,65	2,95
Тангенс угла диэлектрических потерь 106 Гц	0,016	0,016	0,030	0,0006	0,0128
Твёрдость по ГОСТ 5233, усл. ед., не менее	0,6	0,6	0,9	0,4	0,3
Прочность при ударе, кг·см, не менее	50	-	50	30-200	200
Водопоглощение за 48 ч, %	1	-	0,95	0,01	0,06
Рабочий диапазон температур, °С	от -60 до +120	от -60 до +125	от -60 до +120	от -100 до +100	от -100 до +150
Грибостойкость по ГОСТ 9.050, балл по методу А	1	3	2	1	-

Таблица 2 - Технологические параметры нанесения покрытий

Параметры	Значения параметров			
	УР-231	ЭП-9114	ЭП-730	ППКП, ПХПКП
Оптимальная толщина покрытия, мкм	60	60-80	60	13-15
Количество слоёв	3-4	1-2	4	1
Толщина 1 слоя, мкм	10-15	40-80	7-15	13-15
Режим конвективной сушки	1 слой: при 23°С от 30 мин до 1 ч, затем при 65°С от 8 до 9 ч 2 слой: при 23°С от 30 мин до 1 ч, затем при 65°С от 3 до 3,5 ч 3 слой: при 65°С от 8 до 9 ч	1 слой: при 65°С от 2 до 2,5 ч 2 слой: при 65°С от 8 до 9 ч	при 65°С от 9 до 10ч для каждого слоя	Сушка не требуется, покрытие полностью формируется во время нанесения
Время выдержки перед проведением испытаний на влагоустойчивость	7 суток	7 суток	7 суток	не требуется

К основным требованиям покрытия относятся:

- образовывать на изделии/модулях (блоках) прочную прозрачную плёнку, сплошную и равномерную по толщине, полностью повторяющую рельеф изделия;
- сохранять эластичность и не растрескиваться при длительной вибрации и механических нагрузках;
- обладать высокими электроизоляционными характеристиками и физико-механическими свойствами;
- обладать стойкостью к химическим и биологическим воздействиям;
- минимизация и снятие внутренних напряжений на элементах при вибрации и в производственных процессах (формовка, заливка, герметизация);
- упрочнение контакта между компонентами и тонкими проводниками;
- фиксация незакреплённых частей, возникающих по причине вибрации или во время эксплуатации, вызывающих электрические замыкания;
- обеспечение защиты от воздействия газов, пыли и химикатов с целью предотвращения коррозии.

Для обеспечения наибольшей надёжности и эффективности защиты радиоэлектронных и микроэлектронных устройств от воздействия окружающей среды, используется метод нанесения полимерного покрытия.

Для нанесения полимерного покрытия используются специальные вакуумные установки, схематичное изображение представлено на рисунке 1.

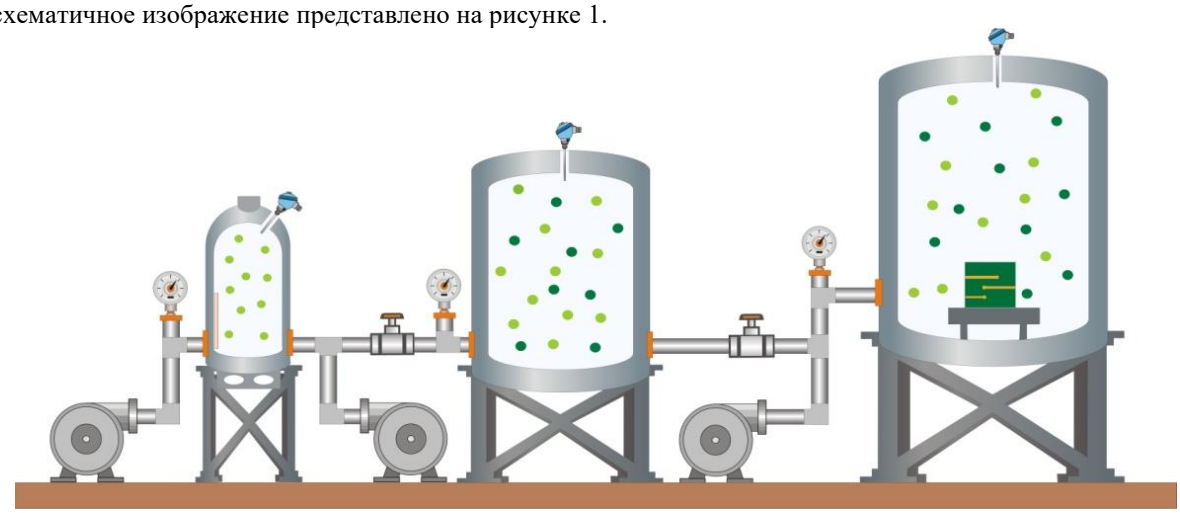


Рисунок 1 - Схематичное изображение вакуумной установки

Процесс формирования полимера показан на рисунке 2.

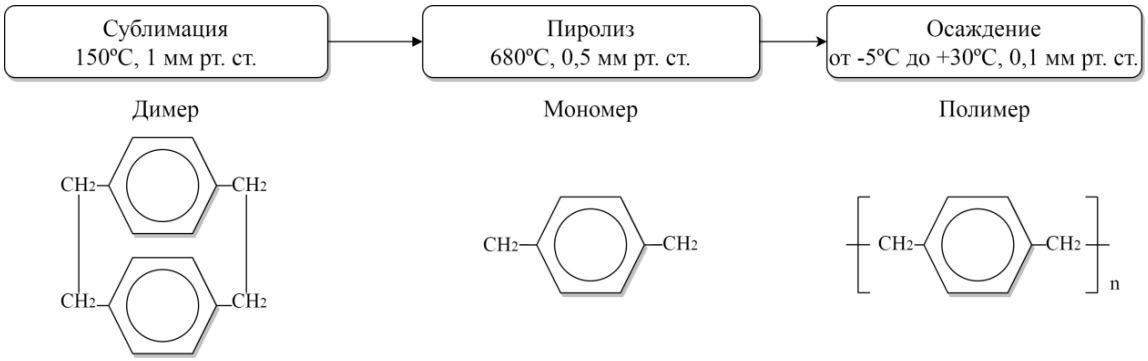


Рисунок 2 - Процесс формирования полимерного покрытия [11]

Установки для нанесения полимерного покрытия состоят из нескольких камер: камера сублимации, камера пиролиза и камера осаждения. Исходный продукт цикло-ди-n-ксилилен (пара-циклофан), попадает в вакуумную камеру, в которой, при температуре 100-150ºС, переходит из твёрдого состояния в парообразное.

На следующем этапе под действием высоких температур (680º С), происходит распад исходного вещества (димера) на низкомолекулярное соединение (мономеры). Мономеры поступают в следующую камеру, в которой соединяются друг с другом при помощи ковалентных связей, образуя полимер. На данном этапе происходит осаждение полимера на изделии.

Для того, чтобы на поверхности покрываемого изделия, находящегося в камере осаждения, сформировалось n-ксилиленовое покрытие, изделие должно быть охлаждено. Поступающий в камеру осаждения горячий пар конденсирует на изделии. Важным фактором является температура, поддерживаемая в камере осаждения, - её значения должны быть в пределах значений от -5ºС до +30ºС, при повышении температуры плёнка будет формироваться медленнее.

При данных параметрах обеспечиваются высокие скорости процесса, хорошие механические характеристики, а также высокие электроизоляционные и влагозащитные свойства поли-n-ксилиленовых-покрытий.

Получившееся покрытие представляет собой прозрачную плёнку толщиной от 0,02 мкм, устойчивую к ультрафиолетовому излучению. За счет того, что процесс формирования защитного покрытия происходит в вакууме, плёнка равномерно покрывает изделие, повторяя сложные формы, углы, зазоры, как представлено на рисунке 3.



Рисунок 3 - Структура покрытия [11].

В таблицах 3-5 [12] представлены характеристики поли-n-ксилиленов.

Таблица 3 - Физико-механические характеристики поли-n-ксилиленов

Характеристики	Поли-ди-хлор-n-ксилилен	Поли-бром-n-ксилилен	Поли-циан-n-ксилилен	Поли-метил-n-ксилилен	Поли-этил-n-ксилилен	поли-n-ксилилен	Поли-хлор-n-ксилилен
Влагопоглощение, %	-	-	-	-	-	0,01	0,06
Плотность, г/см^2	-	-	-	-	-	1,1	1,29
Модуль упругости при растяжении, кгс/см^2 при 20°С при 200°С	28000 1750	28000 1400	30400 1400	28000 70	12300 7	24500 1750	28000 1750
Относительное удлинение при разрыве, %	5-10	30	7-12	230	275	10-200	200
Предел прочности при растяжении, кгс/см^2	420	560	610	670	700	630	910

Таблица 4 - Термические характеристики поли-n-ксилиленов

Характеристики	Поли-ди-хлор-n-ксилилен	Поли-бром-n-ксилилен	Поли-циан-n-ксилилен	Поли-метил-n-ксилилен	Поли-этил-n-ксилилен	поли-n-ксилилен	Поли-хлор-n-ксилилен
Температура плавления кристаллической фазы, °С	300	270	270	200-210	160-170	400	280-300
Теплопроводность, ккал/м·ч·°С/	-	-	-	-	-	0,035	-
Коэффициент теплового расширения, 105/°С	-	-	-	-	-	6,9	3,5

Таблица 5 - Электрические характеристики поли-n-ксилиленов

Характеристики	Поли-ди-хлор-n-ксилилен	поли-n-ксилилен	Поли-хлор-n-ксилилен
Удельное поверхностное диэлектрическое сопротивление (23°С), Ом при 50%-ной относительной влажности при 90%-ной относительной влажности	- -	10^{13} $9\cdot10^{11}$	10^{14} $7\cdot10^{11}$
Электрическая прочность, кВ/мм	-	240	154
Диэлектрическая проницаемость (23°С) при 60 Гц 103 Гц 105 Гц	- 2,82 - -	2,65 2,65 2,65 2,65	3,1 3,1 3,0 2,9

106 Гц			
Удельное объемное диэлектрическое сопротивление (23°С), Ом·см	-	$1{,}4\cdot10^{17}$	$8{,}8\cdot10^{16}$
Тангенс угла диэлектрических потерь (23°С) при 60 Гц 103 Гц 105 Гц 106 Гц	- 0,003 - -	0,0002 0,0002 0,0004 0,0006	0,02 0,0195 0,0156 0,0128

Термостойкие полимеры, такие как поли-n-ксилилены, привлекают внимание исследователей благодаря их способности сохранять свои свойства в условиях повышенных температур. Однако, при совместном воздействии кислорода и температур свыше 300°С на поли-n-ксилилен, начинается процесс разрушения макромолекул (процесс термооксилитатьной деструкции).

Если сравнивать поли-n-ксилилен и поли-ди-хлор-n-ксилилен при длительной эксплуатации, предел температуры составляет 100°С и 130°С. В условиях отсутствия кислорода поли-n-ксилилены выдерживают температуры до 450°С.

Это позволяет рассмотреть возможность использования поли-n-ксилиленов в высокотемпературных условиях, где отсутствует доступ к кислороду, например, в азотной среде, или вакууме. Дальнейшие исследования в области улучшения стабильности поли-n-ксилиленов могут привести к их расширенному применению в высокотемпературных условиях, что будет иметь важное значение для различных сфер промышленности.

Технология, которую представляют поли-n-ксилиленовые покрытия, нашла свое применение в различных областях, но наиболее широко она используется в электронике, микроэлектронике и электротехнике. Поли-n-ксилиленовые покрытия имеют специальные свойства, которые делают их надёжными и эффективными в экстремальных условиях. Помимо этого, они устойчивы к коррозии и механическим повреждениям, что делает их оптимальным решением для элементов электронной аппаратуры, работающих в условиях повышенных нагрузок и требующих защиты от неблагоприятных внешних воздействий.

В настоящее время в России не производятся серийные установки для нанесения плёночных полимерных покрытий. Процесс нанесения покрытия проходит в вакуумных камерах, ранее для нанесения покрытия использовались установки (КОШ, Ксигер-1, Ксигер, ВЗ-901) выпуска 1989-1991 года, с большими объемами камер (от 15 до 130 л). Такие модели достаточно сложны в эксплуатации, в связи с чем стоимость покрытия увеличивалась.

В 2005 году, фирма ООО "Базальт", начала разработку оборудования для нанесения поли-n-ксилиленового покрытия. Разработанные установки ВЗ-901М, УНБ-1, и УНБ-2 представлены на рисунке 4. Использование разработанных установок позволяет автоматизировать производство и снизить стоимость процесса нанесения покрытия.



Рисунок 4 - Оборудование для нанесения поли-n-ксилиленового покрытия.

При разработке новых конструкций, блоков, приборов, необходим поиск оптимальных подходов к решению и выбору технологии нанесения влагозащитного покрытия. В настоящее время приоритетным видом влагозащитного покрытия электронных модулей являются поли-n-ксилиленовые покрытия. Безопасность этого покрытия подтверждена многолетней эксплуатацией радиоэлектронных комплексов на объектах. Таким образом, покрытие демонстрирует высокую надёжность функционирования изделий, особенно в сложных климатических условиях, обеспечивая конкурентное преимущество изделий.

Заключение

Был проведён анализ материалов для защиты изделий от воздействия повышенной влажности и температуры, биологических, химических и других факторов. Рассмотрен процесс формирования покрытий на изделии.

В данном исследовании были рассмотрены покрытия, которые способны обеспечить надёжность электронных устройств и прочих изделий, работающих в условиях повышенной влажности, температуры, а также при воздействии биологических, химических и других факторов.

Особое внимание было уделено анализу четырёх материалов, которые используются в качестве защитных покрытий. Каждый из них имеет определённые свойства и свой уровень защиты.

Одним из наиболее эффективных способов нанесения полимерных защитных покрытий на материалы является процесс нанесения при пониженном давлении с использованием газовых смесей. Этот метод позволяет достичь высокого качества покрытий и обеспечить максимальную защиту поверхностей от внешних воздействий. Использование технологии поли-n-ксилиленовых покрытий в электронике и электротехнике является необходимым для обеспечения высокой надёжности электронных систем, работающих в тяжелых условиях.

Литература

1. Патент № 2765899 C1 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.

2. 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 UYKKGA.

3. 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.

4. Патент № 2766132 C1 Российская Федерация, МПК H01Q 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.

5. Климов, К. Н. Особенности численного электродинамического моделирования антенного полотна с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // 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. 178-183. – EDN UGCHDM.

6. Климов, К. Н. Электродинамическое моделирование волноводной приёмной антенны с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 1(29). – С. 61-68. – EDN XOUOOM.

7. 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.

8. Климов, К. Н. Численное электродинамическое моделирование вибратора с наклонными плечами в канале Флоке с использованием импедансносогласованного материала / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 2(30). – С. 39-46. – EDN UJIVJD.

9. 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.

10. Дризе, А. Д. Электродинамическое моделирование селекторов поляризаций с помощью программного комплекса CST StudioSuite / А. Д. Дризе, К. Н. Климов // Антенны. – 2020. – № 6(268). – С. 41-47. – DOI 10.18127/j03209601-202006-05. – EDN EOJZVN.

11. Ширшова, В. Поли-пара-ксилиленовые покрытия: российская технология защиты РЭА / В. Ширшова, Е. Фомченко // Технологии в электронной промышленности. – 2019. – № 6(114). – С. 30-35. – EDN RYCIZO.

12. Кардаш И. Е., Пебалк А. В., Праведников А. В. Химия и применение поли-n-ксилиленов // Итоги науки и техники. Серия «Химия и технология высокомолекулярных соединений». Т. 19. М.: 1984.

ФОРМИРОВАНИЕ РАЗНОСТНОЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ОДНОКАСКАДНОЙ ШАХМАТНОЙ СХЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Пропастин А.А., Русов Ю.С.
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Кафедра Радиоэлектронные системы и устройства
+7 (499) 267-75-96, rl1@bmstu.ru

В статье исследуется формирование разностной диаграммы направленности многоэлементным излучателем, выполненным на основе антенной решетки из 36 открытых концов волноводов. Необходимое амплитудно-фазовое распределение в раскрыве излучателя создается диаграммообразующей схемой, выполненной в виде однокаскадной шахматной схемы возбуждения с применением волноводно-щелевых делителей мощности. Излучатель может применяться для возбуждения моноимпульсных фазированных антенных решеток и зеркальных антенн.

Ключевые слова: многоэлементный излучатель, разностная диаграмма направленности, диаграммообразующая схема, шахматная схема, делитель мощности.

Formation of a difference radiation pattern of a multi-element radiator with the use of a single-stage chessboard feeding network. Propastin A.A., Rusov Yu.S., Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)

The article studies the formation of a difference radiation pattern by a multi-element radiator made on the basis of an antenna array of 36 open ends of waveguides. The necessary amplitude-phase distribution in the aperture of the radiator is created by a beam-forming circuit, made in the form of a single-stage chessboard feeding network using waveguide-slotted power dividers. The radiator can be used to feed monopulse phased antenna arrays and reflector antennas.

Keywords: multi-element radiator, difference radiation pattern, beam-forming circuit, chessboard network, power divider.

Введение

В современных РЛС требования к точности определения координат подвижных и летающих объектов становятся все более жесткими. Эта тенденция обусловлена множеством взаимосвязанных факторов, среди которых можно выделить следующие: сложность помеховой обстановки, малые электрические размеры объектов, их слабая отражательная способность, высокая скорость передвижения, необходимость быстрого принятия решений. Непосредственными методами повышения точности пеленгации могут быть увеличение размеров антенны и мощности передатчика. Кроме того, повысить точность пеленгации цели можно за счет использования моноимпульсного метода. В этом случае приемная антенна должна формировать как суммарную, так и разностную диаграммы направленности, что требует усложнения конструкции системы распределения сигнала в антенне.

В большинстве случаев апертурная моноимпульсная антенна содержит облучатель, который может быть построен на базе сдвоенных или счетверенных волноводных излучателей с питанием через систему двойных волноводных тройников [1, 2, 3]. В результате у таких облучателей имеется один или два разностных канала и один суммарный канал. Разработка моноимпульсных излучателей является технически сложной задачей, включающей в себя электродинамический расчет, обеспечивающий требуемые электрические характеристики, проектирование конструкции и обеспечение технологических возможностей производства на предприятии изготовителе [4, 6, 7, 8]. Особый интерес представляет исследование возможностей создания многоэлементных излучателей, которые позволяют формировать как суммарные, так и разностные диаграммы направленности специальной формы и могут использоваться в составе апертурных антенн или в качестве самостоятельных антенн в различных радиосистемах.

Постановка задачи

В отличие от большинства моноимпульсных облучателей, в которых разностный канал реализуется непосредственно с помощью двойных волноводных тройников, в работе рассматривается излучатель с диаграммообразующей схемой на базе однокаскадной шахматной схемы возбуждения [17], которая при определенной запитке позволяет формировать разностные диаграммы направленности. Для формирования разностной диаграммы направленности необходимо запитать центральные входы однокаскадной шахматной схемы в противофазе, как показано на рис. 1. Расчет амплитуд электромагнитных волн на выходах схемы возбуждения и коэффициентов связи направленных ответвителей диаграммообразующей схемы выполняется по формулам [5, 17, 11, 12, 13, 14], а затем с помощью параметрического электродинамического моделирования находятся необходимые размеры направленных ответвителей [10].

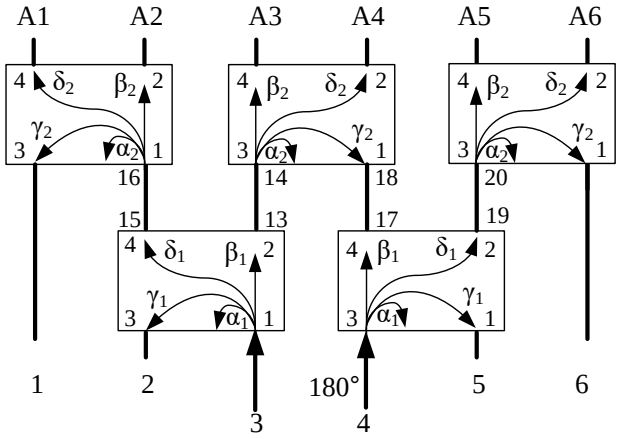


Рисунок 1 – Схема деления мощности в однокаскадной шахматной схеме возбуждения.

На рис. 1 обозначено: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – входы однокаскадной шахматной схемы возбуждения, среди которых запитываются только 3-й и 4-й; α_1 – коэффициент отражения от направленных ответвителей первого ряда, β_1 – коэффициент передачи направленных ответвителей первого ряда, γ_1 – коэффициент передачи мощности в развязанное плечо направленных ответвителя первого ряда, δ_1 – коэффициент перекрестной связи направленных ответвителей первого ряда. Коэффициенты α_2, β_2, γ_2, δ_2 являются теми же параметрами для направленных ответвителей второго ряда. Все коэффициенты α, β, γ, δ – в общем случае комплексные числа. С помощью теории соединения матриц рассеяния получены выражения для расчета амплитуд и фаз электромагнитных волн на выходах фрагмента однокаскадной шахматной схемы возбуждения с учетом коэффициентов отражения и передачи в развязанное плечо направленных ответвителей [5].

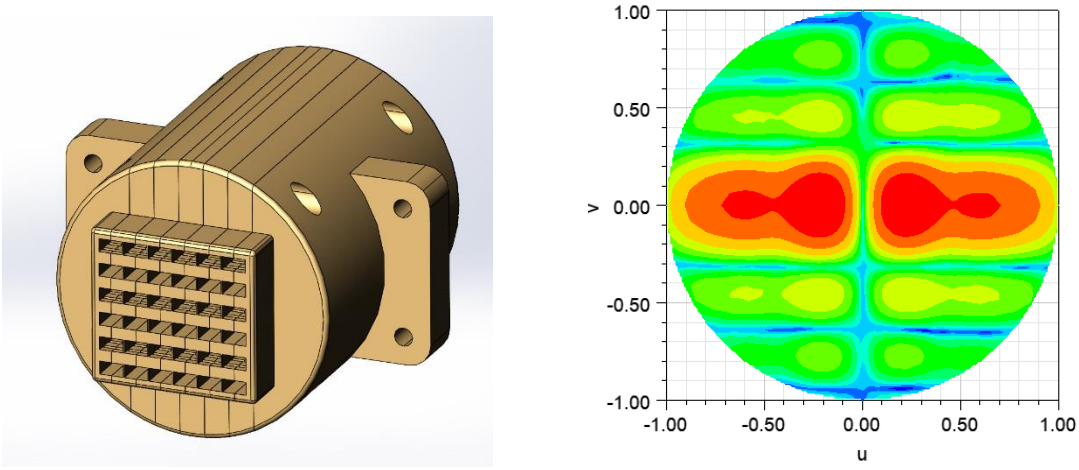
$$A_1 = \delta_1\delta_2 + \alpha_2\beta_1\delta_2\gamma_1,$$
$$A_2 = \beta_2\delta_2 + \alpha_2\beta_1\beta_2\gamma_1,$$
$$A_3 = \delta_1\left(\alpha_2\beta_2\gamma_1 + \alpha_1\alpha_2\delta_2\gamma_1\gamma_2\right) + \beta_1\left(\beta_2 + \alpha_1\delta_2\gamma_2\right),$$
$$A_4 = \delta_1\left(\alpha_2\beta_2\gamma_1 + \alpha_1\alpha_2\beta_2\gamma_1\gamma_2\right) + \beta_1\left(\beta_2 + \alpha_1\beta_2\gamma_2\right),$$
$$A_5 = \beta_2\delta_2 + \alpha_2\beta_1\beta_2\gamma_1,$$
$$A_6 = \delta_1\delta_2 + \alpha_2\beta_1\delta_2\gamma_1,$$

где A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6 – амплитуды электромагнитных волн на выходах схемы деления мощности при синфазной запитке 3-го и 4-го входов.

Диаграммообразующая схема деления мощности в многоэлементном излучателе содержит два ряда направленных ответвителей. В первом ряду направленных ответвителей выполняется деление электромагнитной волны в горизонтальной плоскости, а во втором ряду – в вертикальной плоскости. Такое построение диаграммообразующей схемы позволяет сформировать необходимое двумерное амплитудно-фазовое распределение электромагнитного поля в раскрыве излучателя.

Моделирование излучателя

Конструкция излучателя представляет собой сборку из Е-плоскостных ребристых пластин, которые собираются в единую конструкцию с применением резьбовых соединений (рис. 2 а) [19]. Электродинамическое моделирование излучателя выполнялось методом конечных элементов с учетом всех конструктивных особенностей и характеристик материалов. При возбуждении входов, показанном на рис. 1, излучатель формирует разностную диаграмму направленности, которая представлена на рис. 2 б.



а) б)

Рисунок 2 – Многоэлементный излучатель (а) и его разностная диаграмма направленности в горизонтальной плоскости в системе координат направляющих косинусов (б).

Исследуемый излучатель содержит многоэлементный раскрыв, что при необходимом амплитудно-фазовом распределении дает возможность сформировать секторную суммарную диаграмму направленности заданной ширины с минимальной неравномерностью [19]. При этом при соответствующем возбуждении входов излучатель также формирует разностные диаграммы направленности в двух ортогональных плоскостях. Сечения разностных диаграмм направленности излучателя в главных плоскостях представлены на рис. 3.

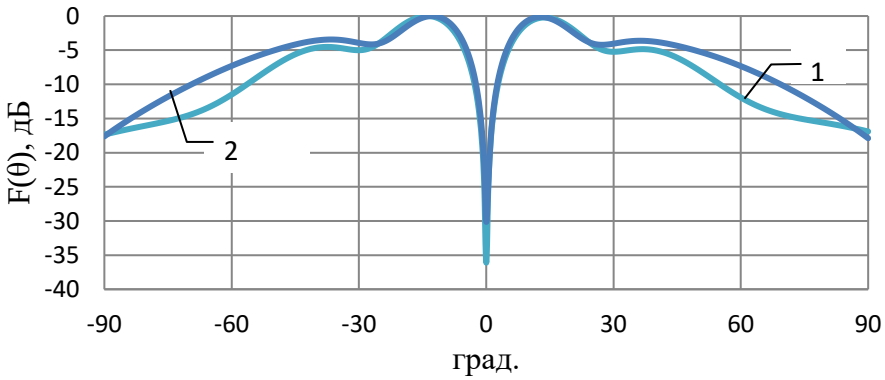


Рисунок 3 – Разностные диаграммы направленности излучателя в вертикальной (1) и горизонтальной (2) плоскостях

Формируемые излучателем разностные диаграммы направленности имеют достаточно глубокий минимум в направлении нормали к раскрыву. Это позволяет использовать излучатель для моноимпульсной пеленгации в двух плоскостях. При необходимости имеется возможность повысить крутизну пеленгационной характеристики вблизи направления нормали к раскрыву излучателя путем формирования соответствующего амплитудно-фазового распределения с помощью диаграммообразующей схемы.

Заключение

Многоэлементный излучатель на базе однокаскадной шахматной схемы возбуждения показывает хорошие результаты по формированию разностных диаграмм направленности и может быть применен в приемных моноимпульсных антенных системах. Диаграммообразующая схема излучателя может формировать как парциальные [9, 17], так и суммарные и разностные диаграммы направленности. При этом многоэлементный раскрыв позволяет формировать диаграммы направленности необходимой формы, что обеспечивается возможностью управлять амплитудно-фазовым распределением путем изменения коэффициентов деления в волноводно-щелевых делителях мощности. Параллельная система деления мощности в отличие от последовательной дает возможность использовать сверхкороткоимпульсные сигналы для повышения разрешающей способности радиолокационных станций [15], что значительно расширяет области практического применения излучателя. Гибкость при формировании диаграмм направленности позволяет использовать излучатель в многофункциональных радиолокационных

комплексах управления движения аэродромов и охранных радиолокационных станциях плавучих платформ [16, 18].

Литература

1. Русов Ю.С., Голубцов М.Е., Овечкин В.С. Моноимпульсный облучатель для приемо-передающей системы с четырехканальным цифровым приемником // Наука и образование: Электронное научно-техническое издание. 2012. № 1. URL: http://engineering-science.ru/doc/248250.html
2. Русов Ю.С., Голубцов М.Е., Крючков И.В., Овечкин В.С. Моноимпульсный облучатель для системы с цифровым формированием приемных диаграмм направленности // Материалы 21-й Междунар. Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь: Вебер. 2011. Т. 2. С. 531-532.
3. Моноимпульсная антенна: патент на изобретение 2370863 РФ / В.И. Образумов, В.М. Крехтунов, О.Ю. Шевцов, Ю.С. Русов, М.Е. Голубцов. Заявл. 04.08.2008. Опубл. 20.10.2009. Бюл. №29.
4. Русов Ю.С. Исследование влияния герметизации многорупорного приемо-передающего облучателя на его характеристики // Радиооптика. 2017. № 3. С. 1-13.
5. Русов Ю.С., Пропастин А.А. Исследование матрицы рассеяния однокаскадной шахматной схемы возбуждения многоэлементного излучателя // Радиостроение. 2021. № 4. С. 1-12.
6. Русов Ю.С., Крапивина С.С. Исследование возможностей согласования раскрыва многоэлементного приемо-передающего облучателя // Радиостроение. 2021. № 1. С. 1-13.
7. Русов Ю.С., Руссо Д.Р. Компактный свернутый двойной волноводный тройник для суммарно-разностных узлов // Радиолокация, навигация, связь. Сборник трудов XXVIII Международной научно-технической конференции. В 6 т. Воронеж, 2022. Т. 5. С. 118-123.
8. Русов Ю.С., Голубцов М.Е., Литун В.И. Моноимпульсные облучатели для возбуждения двухзеркальных антенн // Радиотехника. 2013. № 11. С. 113-117.
9. Конов К.И., Климов К.Н. Подавление уровня боковых лепестков в модельной задаче об излучении антенной решетки с заданными парциальными диаграммами // Радиотехника и электроника. 2021. Т. 66. № 6. С. 581-593.
10. Дризе А.Д., Климов К.Н. Электродинамическое моделирование облучателя, поляризатора и селектора поляризации // Антенны. 2020. № 4 (266). С. 63-70.
11. Русов Ю.С., Пропастин А.А. Анализ матрицы рассеяния четырехщелевого волноводного направленного ответвителя // Радиолокация, навигация, связь. Сборник трудов XXVIII международной научно-технической конференции. В 6 т. Воронеж, 2022. Т. 4. С. 364-372.
12. Пропастин А.А., Русов Ю.С. Анализ характеристик многоэлементного излучателя на основе однокаскадной шахматной схемы возбуждения // Труды 11-й международной научно-технической конференции «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации», ARMIMP-2018, Российское НТОРЭС им. А.С. Попова, 07-10 октября 2018 г., Суздаль, Россия. С. 63-65.
13. Пропастин А.А., Русов Ю.С. Исследование волноводно-щелевых мостовых устройств в области малых коэффициентов связи // Труды 6-ой Всероссийской Микроволновой конференции, 28-30 ноября 2018 г., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва. С. 37-39.
14. Пропастин А.А., Русов Ю.С. Анализ матрицы рассеяния последовательного делителя мощности с учетом характеристик его составных частей // Труды 6-ой Всероссийской Микроволновой конференции, 28-30 ноября 2018 г., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва. С. 34-36.
15. Скосырев В.Н., Нуждин В.М., Коновальцев А.В., Ананенков А.Е. Технология сверхкороткой радиолокации. Состояние и тенденции развития // Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике. Муром, 2006.
16. Скосырев В.Н., Слукин Г.П., Нефедов С.И., Федоров И.Б., Ананенков А.Е. Радиооптический комплекс для диспетчерских служб региональных аэропортов // Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции «Радиооптические технологии в приборостроении». Москва, МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2015. С. 104-109.
17. Скобелев С.П. Фазированные антенные решетки с секторными парциальными диаграммами направленности. М.: Физматлит, 2010. 318 с.
18. Скосырев В.Н. Модульная информационная система обеспечения функционирования транспортных средств нефтегазового комплекса / В.Н. Скосырев, В.А. Усачев, А.И. Ермаков и др. // Нефть, газ и бизнес, 2017. № 2. С. 40-43.
19. Митрохин В.Н., Можаров Э.О., Пропастин А.А. Облучатель Ка-диапазона волн с секторной диаграммой направленности // Антенны. 2015. № 9 (220). С. 3-8.

РАЗРАБОТКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЁМНОГО МЕХАНИЗМА С ФИКСАЦИЕЙ ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Пудиков А.В.
НИУ Московский Авиационный Институт
artyom118@gmail.com

В работе показан процесс разработки блока управления (субблок) подъёмным механизмом. После описания задачи выполнены три основных части его создания – разработка электрической схемы, перечня элементов и модели блока. За основу была взята предыдущая модель блока, сделанного на предприятии.
Ключевые слова: субблок, блок управления, подъёмный механизм.

Development of a lifting mechanism control unit with locking for a radar station. Pudikov A. V., MAI
The paper shows the process of developing a control unit (subunit) for a lifting mechanism. After describing the task, three main parts of its creation were completed - the development of an electrical circuit, a list of elements and a block model. The previous block model made at the enterprise was taken as a basis.
Keywords: subunit, control unit, lifting mechanism.

Введение

Тема работы – разработка блока управления подъёмного механизма с фиксацией (субблок). Данная тема была выбрана в связи со спецификой внеучебной деятельности (работа на предприятии ПАО «НПО «Алмаз») и, соответственно, возможностью детально изучить с помощью неё основные принципы конструирования электронных средств и создать собственное изделие. Блок управления позволяет воздействовать на механизм подъёма (лебёдка) и на механизм фиксации (МП-100), что в свою очередь необходимо в другом более масштабном устройстве (подъёмный стол для радиолокационной станции) [1][2][3][4][5]. Соответственно, цель работы – разработка блока управления. Она включает: создание компонентной базы, модели, электрических схем, и конструкторской документации различных компонент [6][7][8][9][10].

Постановка задачи

В соответствии с целью можно выделить следующие задачи:

- Анализ конструкций блоков управления;
- Поиск новых решений для модернизации предыдущего блока;
- Создание блока (перечень элементов, схема, модель и конструкторская документация);
- Согласование документации с отделами контроля;
- Производство опытного образца.

Актуальность данной работы связана с необходимостью модернизации подъёмного механизма и улучшения характеристик уже существующего блока: добавление функции фиксации механизма, обновление базы компонентов до более современной и менее дорогостоящей, замена электромеханических элементов на логические, уменьшение площади некоторых сборных компонентов, удобство в эксплуатации и техническом обслуживании за счёт обновления корпуса конструкции. Разработка и выпуск нового блока сильно увеличат общую полезность и выгоду его производства, а именно: упростят конструкцию всего механизма и принцип работы, снизят трудоёмкость производства и себестоимость в несколько раз. При неизменных показателях габаритов корпуса будет достигнуто улучшение сразу по множеству параметров относительно предыдущего экземпляра.

Процесс работы

На первом этапе работы проводится анализ разработки оборудования управления подъёмными механизмами, после чего выявляются недостатки предыдущего варианта субблока (на основе которого будет создаваться нынешний) для проектирования нового, согласовывается его назначение и утверждается разработка. Затем необходимо сделать примерную электрическую схему, оформить перечень элементов создаваемого блока и в соответствии с ним начать делать его 3D-модель.

Каждый подъемный механизм должен иметь эффективный блок управления, который обеспечит его безопасную и эффективную работу. Кнопочные блоки управления являются одними из самых распространенных компонентов в автоматизированных системах управления. Они могут быть использованы для управления насосами, вентилями, дверьми и другими устройствами. Одной из особенностей конструкции подобных блоков является наличие микропереключателей, которые позволяют определить положение кнопки и направление движения. Кроме того, встроенные светодиоды могут помочь пользователю в ориентации в пространстве и отображении текущего статуса системы. При создании такого блока необходимо руководствоваться следующими принципами:

Надежность. Блок управления должен быть выполнен из качественных материалов, иметь прочную конструкцию и обеспечивать долговечность и надежность в работе.

Простота. Элементы блока управления должны быть легко доступны и понятны для пользователя. Управление механизмом должно быть простым и интуитивно понятным.

Функциональность. Блок управления должен обеспечивать необходимый набор функций, включая управление скоростью, направлением движения и остановкой механизма.

Безопасность. Блок управления должен быть оборудован системами аварийной остановки и защиты от разрыва проводов, а также иметь возможность контроля состояния механизма.

Эргономичность. Блок управления должен быть удобным для использования оператором, оснащен удобной и понятной панелью управления.

Соблюдение этих принципов позволит создать блок управления, который будет обеспечивать безопасную и эффективную работу подъемного механизма.

В данной работе блок будет иметь три основные кнопки, соответствующие его функциям – «ВВЕРХ», «ВНИЗ» и «СТОП», необходимые, соответственно, для подъёма и спуска стола, а также для аварийной остановки конструкции.

Сначала создаются первые варианты электрической схемы блока. Для её создания были использованы программы «САПР «Макс» [11], Altium Designer [12] и соответствующие функции: добавление компонентов и контактов, проведение линий связи и создание соединений между элементами схемы. В результате получился чертёж первой электрической схемы блока, представленный на рисунках ниже. На первых двух рисунках показаны части схемы с контакторами и платой А2 из верхней части субблока. На третьем рисунке представлена основная часть схемы с микросборками, микросхемами и множеством других элементов.

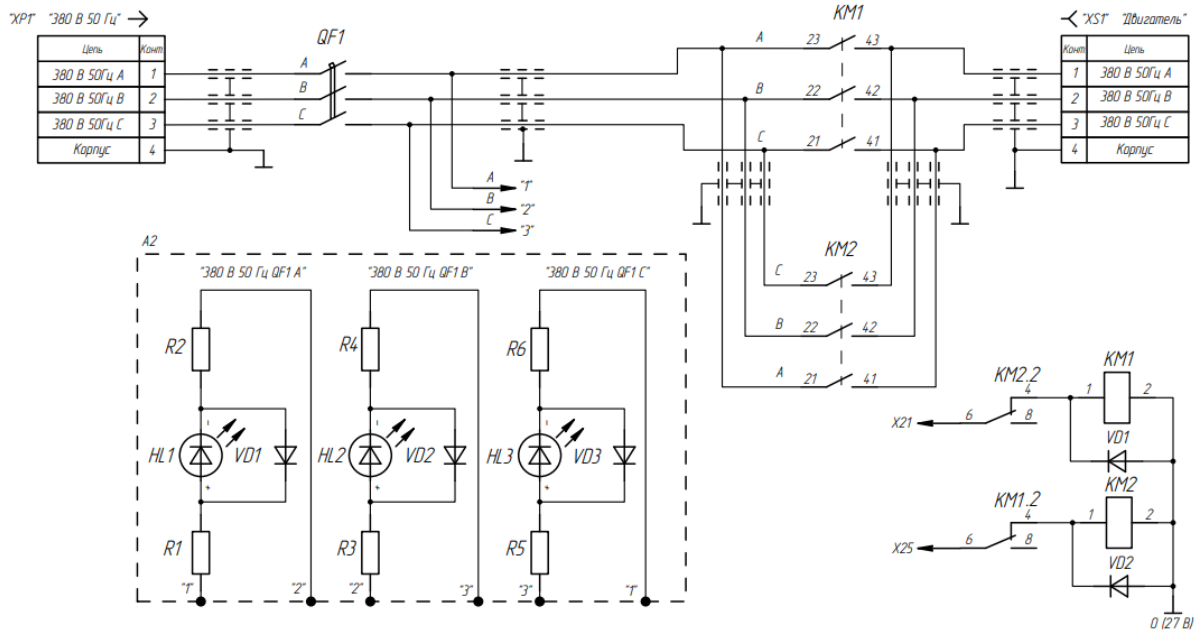


Рисунок 1 – Электрическая схема в «САПР «Макс» (Часть 1)

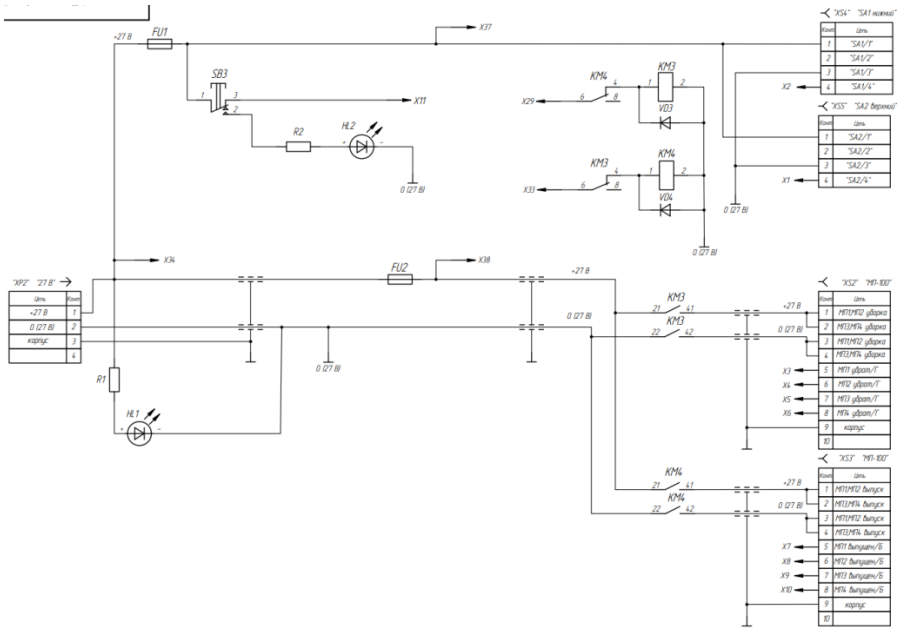


Рисунок 2 – Электрическая схема в «САПР «Макс» (Часть 2)

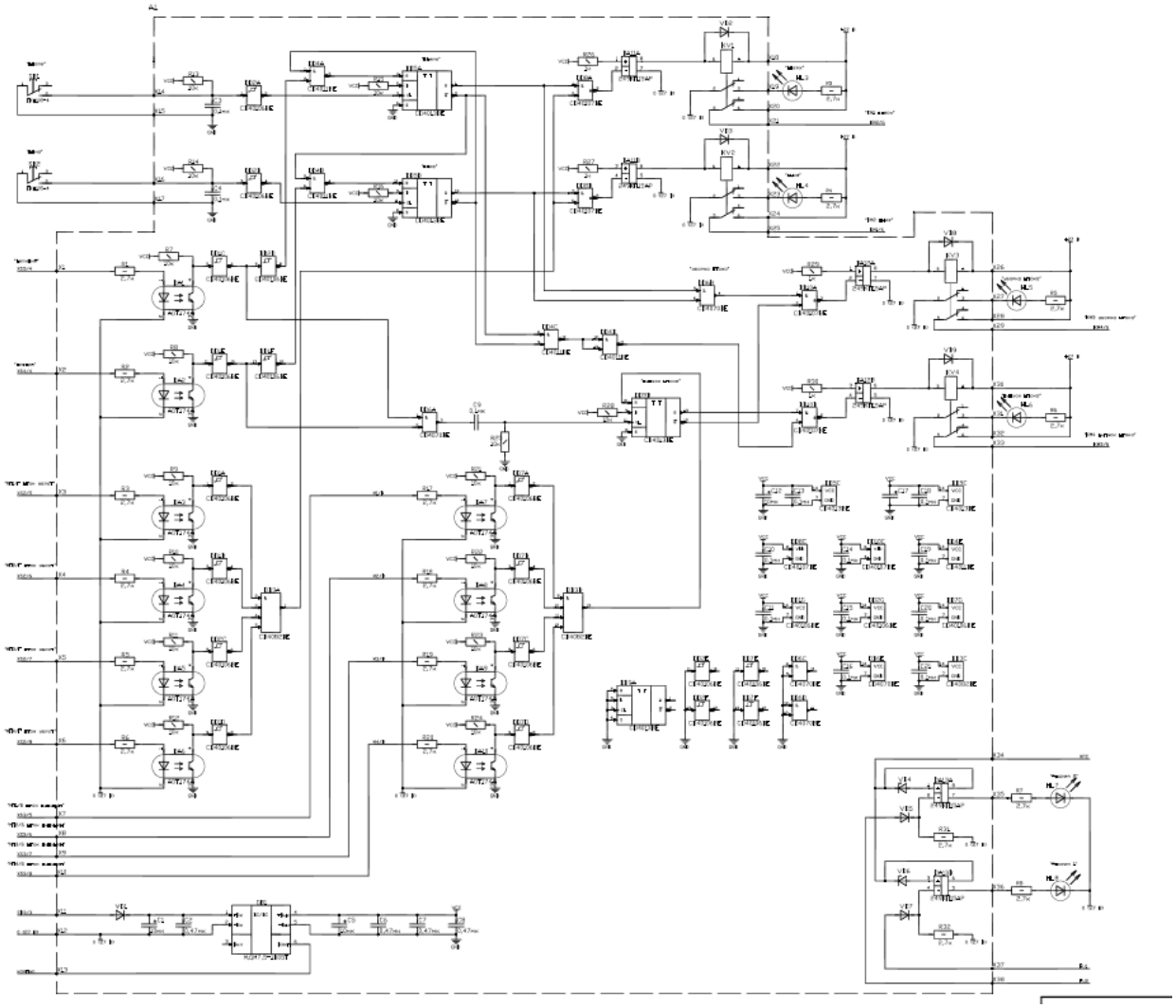


Рисунок 3 – Часть электрической схемы, выполненная в «Altium Designer»

Для следующей части описанного задания был проведён анализ конструкции предыдущего блока, разбор электрической схемы и поиск соответствующих и новых компонентов в магазинах электронных приборов и оборудования, например, в «Чип и Дип» [13]. После сравнения стоимостей, консультации с руководителем и другими участниками производственного процесса и непосредственно выбора компонентов был составлен предварительный перечень элементов с помощью уже использованной ранее программы «САПР «Макс». Её спецификой является создание электрических схем, сборочных чертежей, таблиц соединений и спецификаций. Необходимые элементы либо берутся из существующей базы компонентов ПАО «НПО «Алмаз», либо создаются вручную самостоятельно или при помощи отдела электронных библиотек. В результате выбора получился предварительный список из множества различных наименований (например, индикаторов, резисторов, микросхем, плат и т.д.), представленных в перечне элементов блока.

После составления списка компонентной базы был осуществлён их перенос в вышеописанное ПО и составлен перечень с помощью функции «создать перечень элементов ГОСТ 2.701». При этом указанные компоненты были перенесены из созданного списка на лист соответствующего шаблона, который затем был экспортирован в формате pdf-файла.

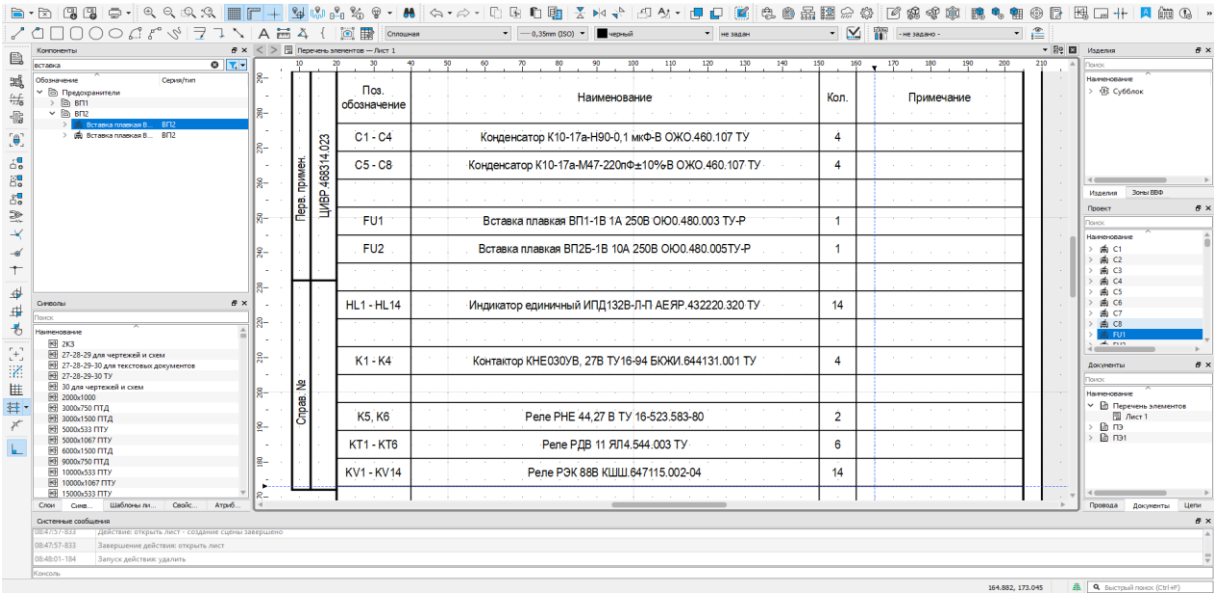
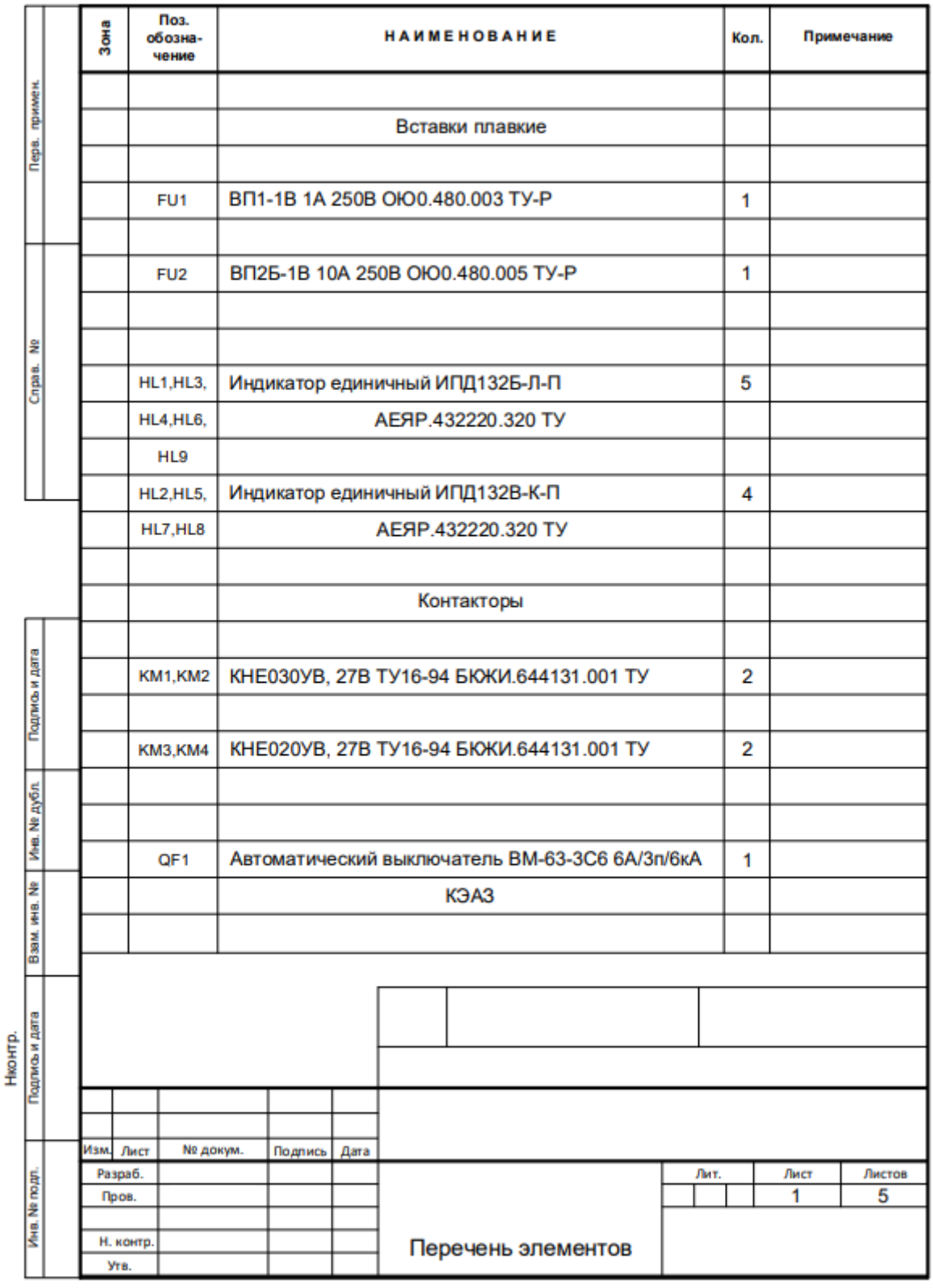


Рисунок 4 – Создание перечня элементов в программе «САПР «Макс»

Далее для создания перечня элементов также использовалась программа «Visio» из пакета Microsoft Office. В блоке будут использоваться вставки плавкие, индикаторы, контакторы, выключатель, резисторы, переключатели, диоды, вилки, розетки, конденсаторы, стабилитрон, микросборки и микросхемы, некоторые из указанных компонентов будут располагаться на двух монтажных платах. Ниже приведён первый лист всего перечня.



Зона	Поз. обозначение	НАИМЕНОВАНИЕ	Кол.	Примечание
		Вставки плавкие		
	FU1	ВП1-1В 1А 250В ОЮ0.480.003 ТУ-Р	1	
	FU2	ВП2Б-1В 10А 250В ОЮ0.480.005 ТУ-Р	1	
	HL1,HL3,	Индикатор единичный ИПД132Б-Л-П	5	
	HL4,HL6,	АЕЯР.432220.320 ТУ		
	HL9			
	HL2,HL5,	Индикатор единичный ИПД132В-К-П	4	
	HL7,HL8	АЕЯР.432220.320 ТУ		
		Контакторы		
	KM1,KM2	КНЕ030УВ, 27В ТУ16-94 БКЖИ.644131.001 ТУ	2	
	KM3,KM4	КНЕ020УВ, 27В ТУ16-94 БКЖИ.644131.001 ТУ	2	
	QF1	Автоматический выключатель ВМ-63-3С6 6А/3п/6кА	1	
		КЭАЗ		

Перв. примен. | Справ. № | Подпись и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подпись и дата | Инв. № подл. | Нконтр.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.				
Пров.				
Н. контр.				
Утв.				

Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
	1	5

Рисунок 5 – Создание перечня элементов в программе «Microsoft Visio»

Чтобы утвердить блок и официально начать его разработку, по имеющейся документации сделано описание работы субблока, приведённое далее.

Субблок предназначен для подъема/опускания стола и фиксации его в верхнем и нижнем положении.

При нажатии кнопки «вверх» (SB1) (стол находится в зафиксированном положении внизу) срабатывает реле (KV3), которое включает магнитный контактор (KM3), отвечающий за уборку штока

МП-100. Происходит разблокирование стола и загорается светодиод (HL5). После этого срабатывают микропереключатели МП-100, с которых подаётся сигнал на включение реле (KV1). Реле (KV1) включает магнитный пускатель (KM1), отвечающий за подъём, в это же время загорается светодиод «вверх» (HL3) и стол поднимается. В верхнем положении стол наезжает на конечный выключатель (SA2), с которого подаётся сигнал на отключение (KV1), (KV3) и, соответственно, (KM3) и (KM1). Светодиоды (HL5, HL3) гаснут. Одновременно подаётся сигнал на фиксацию, включается реле (KV4), которое включает (KM4), подаётся напряжение +27В на выпуск штока и загорается светодиод (HL6), срабатывают микропереключатели и подаётся сигнал на отключение (KV4) и (KM4), светодиод (HL6) гаснет. Элементы данного процесса показаны на рисунках 3 (основная часть), 1 и 2 (контакторы КМ) соответственно.

При нажатии кнопки «вниз» (SB2) (стол находится в зафиксированном положении наверху) срабатывает реле (KV3), включающее контактор (KM3). Контактор (KM3) подаёт питание +27В на МП-100 и происходит уборка штока. С микропереключателя подаётся сигнал на опускание стола, включается (KV2), которое включает (KM2), загорается светодиод «вниз» (HL4) и стол опускается. В нижнем положении стол наезжает на конечный выключатель (SA1), который подаёт сигнал на отключение (KV3), (KV2), (KM3) и (KM2), гаснет светодиод (HL4). Одновременно подаётся сигнал на выпуск штока (происходит фиксация). Включается (KV4), которое включает (KM4), и загорается светодиод (HL6). При выдвинутом положении штока, срабатывают микропереключатели, с которых подаётся сигнал на отключение (KV4), (KM4) и (HL6). Элементы данного процесса также показаны на рисунках 3 (основная часть), 1 и 2 (контакторы КМ).

При нажатии кнопки «стоп» с фиксацией (SB3), происходит остановка, полностью обесточивается схема управления и стол останавливается. Чтобы вновь вернуться в рабочее состояние, необходимо повторно нажать на кнопку «стоп». Кнопка и связанные элементы показаны на рисунках 2 и 3.

Для создания модели в SOLIDWORKS [14] был сделан новый корпус по подобию старого с возможностью дальнейшего изменения габаритов с перспективой их уменьшения. К нему была сделана дверь и петли для контроля конструкции и сокрытия внутренней части от пользователей, при этом блок можно открыть для работы с компонентами и сервисного обслуживания. Из модели прошлого блока были взяты некоторые внутренние компоненты и крепёжные изделия для быстрого переноса на создаваемый блок. Другие компоненты были добавлены из внутреннего хранилища предприятия – «Союз PLM». Из-за работы над другими проектами и регулярных изменений в конструкции блока окончательный вариант модели ещё не готов и регулярно изменяется. Имеющийся на данный результат представлен на рисунке ниже в двух вариациях: без и с прозрачной дверью для возможности рассмотрения компонентов сборки.

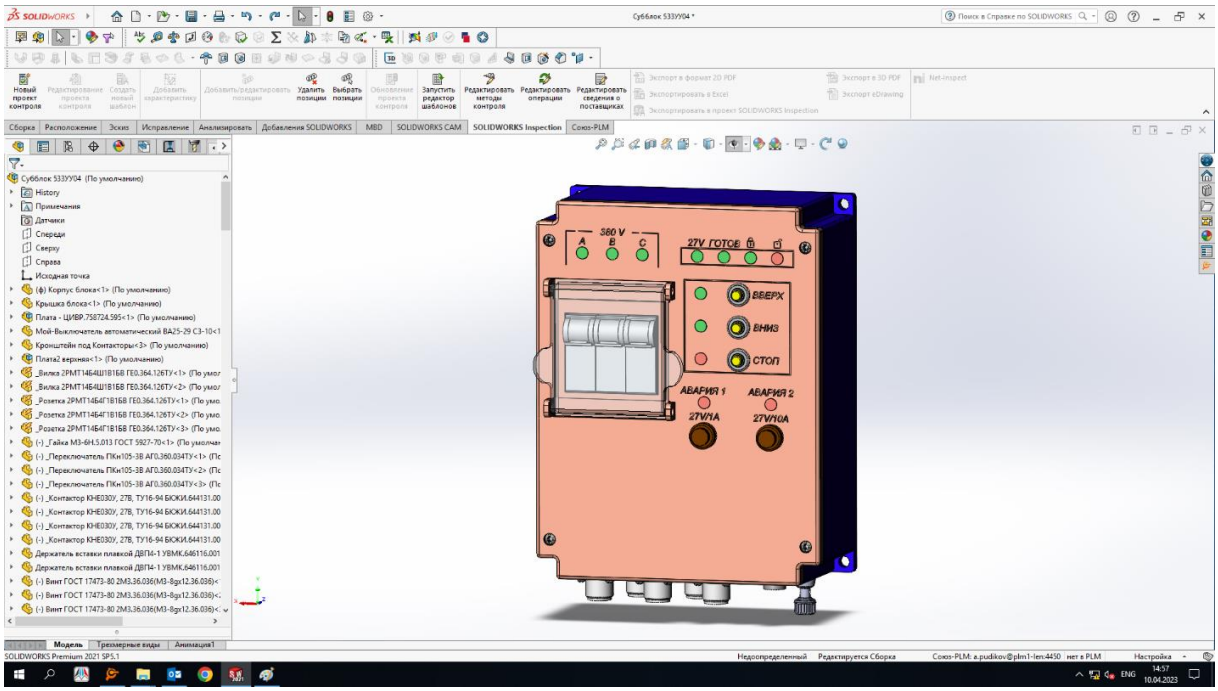


Рисунок 6 – Создание сборки блока в «SOLIDWORKS Premium» (вид снаружи)

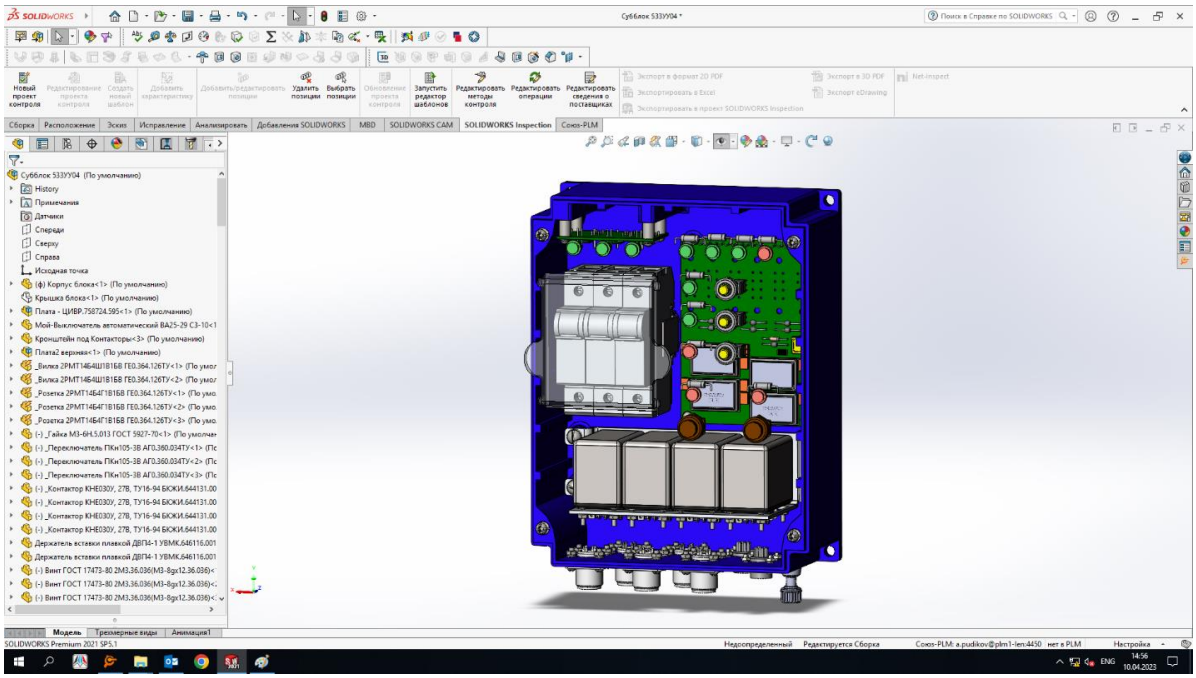


Рисунок 7 – Создание сборки блока в «SOLIDWORKS Premium» (внутренности блока)

В дальнейшем некоторые компоненты, а также кронштейны и другие недостающие детали при отсутствии в существующей базе данных будут также создаваться в этом ПО вручную.

Заключение

Таким образом, в результате начального этапа работы был составлен общий план проекта, составлен и создан перечень элементов будущего блока, сделана первая версия электрической схемы МП-100 и модели блока, а также изучены следующие программы для выполнения соответствующих задач: «САПР «Макс» и «SOLIDWORKS Premium». Далее планируется перейти к завершению первой модели блока и составлению первой технической документации: требований к блоку, руководству по эксплуатации и доработке электрических схем.

Литература

1. 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 UYKKGA.

2. Патент № 2766132 C1 Российская Федерация, МПК H01Q 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.

3. Климов, К. Н. Электродинамическое моделирование волноводной приёмной антенны с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 1(29). – С. 61-68. – EDN XOUOOM.

4. Климов, К. Н. Численное электродинамическое моделирование вибратора с наклонными плечами в канале Флоке с использованием импедансносогласованного материала / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 2(30). – С. 39-46. – EDN UJIVJD.

5. Дризе, А. Д. Электродинамическое моделирование селекторов поляризаций 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.

6. Патент № 2765899 C1 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.

7. 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.

8. Климов, К. Н. Особенности численного электродинамического моделирования антенного полотна с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // 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. 178-183. – EDN UGCHDM.

9. 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.

10. 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.

11. САПР МАКС // Официальный сайт САПР «Макс» URL: https://maks.manufactory.digital (дата обращения: 20.05.2023).

12. Altium Designer // Официальный сайт «Altium Designer» URL: https://www.altium.com/ru/altium-designer (дата обращения: 25.05.2023).

13. «ЧИП и ДИП» для юридических лиц // Официальный сайт «ЧИП и ДИП» URL: https://www.chipdip.ru/howbuy/for-business (дата обращения: 20.05.2023).

14. About 3DS // Официальный сайт «SOLIDWORKS» URL: https://www.3ds.com/about-3ds (дата обращения: 20.05.2023).

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПЕЛЕНГАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

Виноградова С.М.
НИУ Московский авиационный университет
vinogradova.sofiamikh@gmail.com

Представлен алгоритм применения разностно-дальномерного метода в конкретной прикладной задаче – пеленгации импульсных сигналов в трехмерном пространстве с евклидовой метрикой. Решение находится в виде точки пересечения трех гиперболоидов, фокусы которых располагаются вдоль ортонормированного базиса выбранной системы координат. Выбранный метод позволяет решать поставленную задачу и в ближней, и в дальней зоне.

Ключевые слова: пеленгатор; алгоритм; разностно-дальномерный метод; гиперболоид; евклидова метрика; импульсный сигнал.

Developing the software algorithm for a pulse signal direction finder. Vinogradova S. M., Moscow Aviation Institute (National Research University).

The algorithm of application of difference-distance method in a specific application problem - direction of pulse signals in three-dimensional space with Euclidean metric is presented. The solution is in the form of a point of intersection of three hyperboloids whose focuses are located along the orthonormal basis of the selected coordinate system. The chosen method allows you to solve the task, both in the near and in the far zone.

Keywords: direction finder; algorithm; difference-rangefinder method; hyperboloid; Euclidean metric; pulse signal.

Введение

В большинстве пеленгаторов для выполнения их главной функции широко используется метод триангуляции [1], однако упомянутый метод обладает недостатком, связанным с погрешностью вычисления, если применять его при пеленгации в ближней зоне. Учет свойств гиперболы и гиперболоидов [2-4] делает более универсальным для использования в разнообразных прикладных задачах пеленгации разностно-дальномерный метод [5-15]. Рассматривается логика и последовательность вычислений при применении разностно-дальномерного метода для определения местоположения источника сигнала. Важно отметить, что испускающий излучение объект здесь и далее принят за неподвижный или движущийся с пренебрежительно малой скоростью. Основной функцией пеленгатора импульсных сигналов являются определение координат в трехмерном пространстве, также в качестве дополнения – возможность получения частотных характеристик, а также вывод и визуализация получаемых результатов.

Постановка задачи

Пусть одной из основных функций пеленгатора будет определение местоположения источника сигнала в координатах (X, Y, Z) с удовлетворительной точностью как в дальней зоне, так и в ближней.

Для выполнения задачи применяется разностно-дальномерный метод с поиском точки пересечения трех гиперболоидов [9], основанный на свойстве гиперболы о том, что разность расстояний от любой точки гиперболы до двух ее фокусов есть величина постоянная. В конкретной прикладной задаче в фокусах располагаются принимающие антенны радиоприемных устройств [10-15] (далее – РПУ) (см. рис. 1).

Имеются 4 радиоприемных устройства, способные принимать сигнал, испускаемый источником излучения (объект), посредством принимающих антенн.

Задан ортонормированный базис в трехмерном пространстве с евклидовой метрикой.

В выбранной декартовой прямоугольной системе координат в пространстве, обозначаемой как **Ox'y'z'**, за точку отсчета принимается местоположение антенны одного из РПУ, именуемого базовым (далее – база), антенны остальных 3 РПУ, именуемых периферийными, располагают на определенных расстояниях вдоль координатных осей **Ox'**, **Oy'**, **Oz'** соответственно (см. рис. 2). При этом антенна одного из РПУ будет располагаться на оси высоты/глубины **Oz'**.

Расстояния между приемной антенной базы и каждой из приемных антенн периферийных РПУ являются постоянными величинами для конкретного сеанса работы прибора, данные значения фиксируются сразу после установки всех принимающих антенн РПУ пеленгатора на свои места.

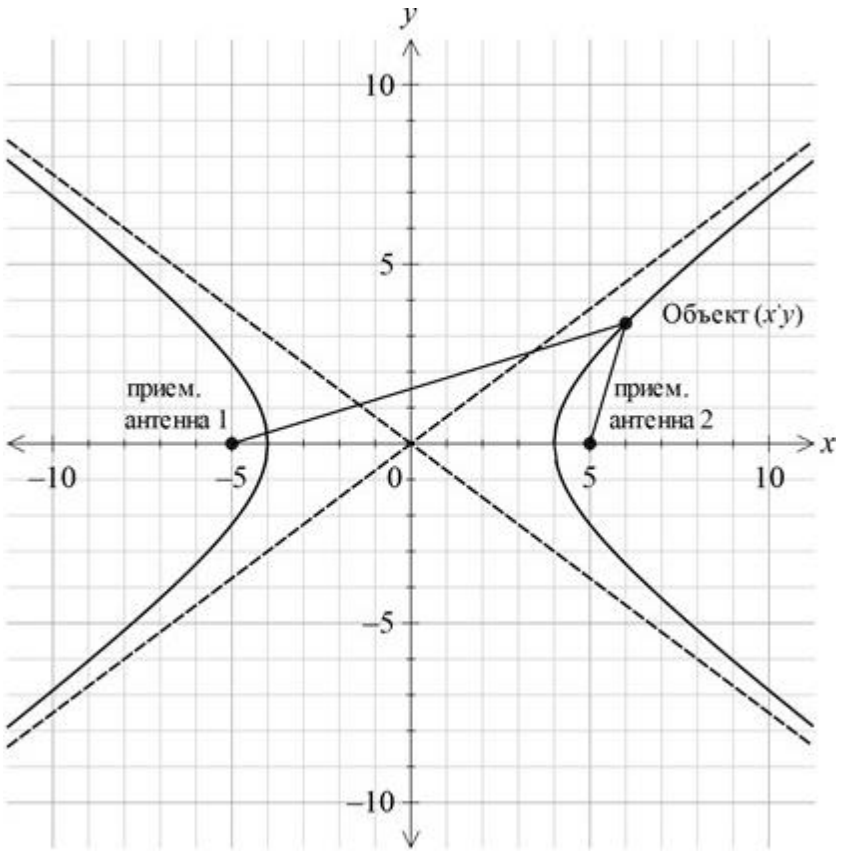


Рисунок 1 – Использование свойства гиперболы для пеленгации

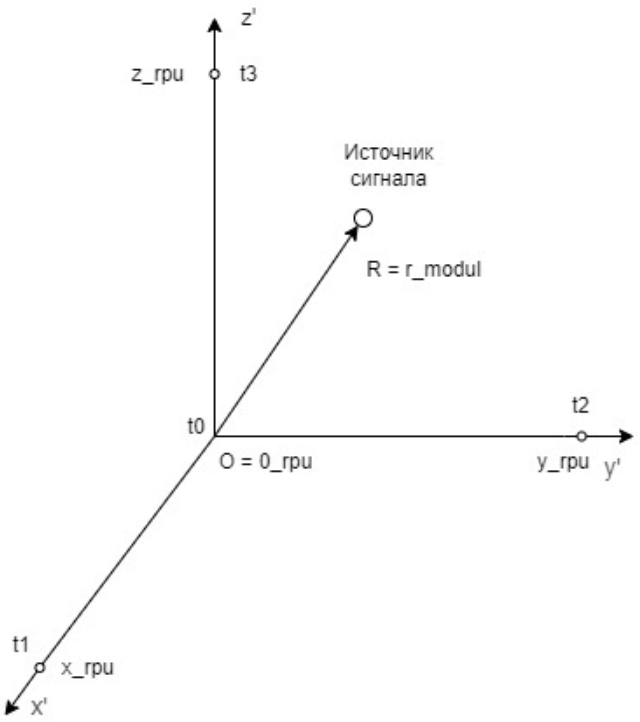


Рисунок 2 – Задание системы координат для вычисления местоположения источника сигнала

Предлагается задать следующий вычислительный алгоритм для управляющего модуля пеленгатора.

1. Объявляется центр системы координат выбранного базиса как местоположение приемной антенны выбранного за базу РПУ: **0_rpu** = (0, 0, 0).

2. На вход функции определения координат поступают данные и записываются в соответствующие переменные:

Пользовательский ввод

а) расстояние между приемной антенной базы и приемной антенной периферийного РПУ, размещенной вдоль оси **Ox'** используемой системы координат, единица измерения – м;

запись в переменную **x_rpu** = (x', 0, 0); примем обозначение **x'** = $\mathbf{x_1}$.

б) расстояние между приемной антенной базы и приемной антенной периферийного РПУ, размещенной вдоль оси **Oy'** используемой системы координат, единица измерения – м;

запись в переменную **y_rpu** = (0, y', 0); примем обозначение **y'** = $\mathbf{x_2}$.

в) расстояние между приемной антенной базы и приемной антенной периферийного РПУ, размещенной вдоль оси **Oz'** используемой системы координат, единица измерения – м;

запись в переменную **z_rpu** = (0, 0, z'); примем обозначение **z'** = $\mathbf{x_3}$.

г) скорость распространения сигнала в среде вдоль оси **Ox'** с учетом температуры, характера среды и других значимых внешних факторов, единица измерения – м/с;

запись в переменную **v_x**; примем обозначение **v_x** = $\mathbf{v_1}$.

д) скорость распространения сигнала в среде вдоль оси **Oy'** с учетом температуры, характера среды и других значимых внешних факторов, единица измерения – м/с;

запись в переменную **v_y**; примем обозначение **v_y** = $\mathbf{v_2}$.

е) скорость распространения сигнала в среде вдоль оси **Oz'** с учетом температуры, характера среды и других значимых внешних факторов, единица измерения – м/с;

запись в переменную **v_z**; примем обозначение **v_z** = $\mathbf{v_3}$.

Данные после обработки регистрируемого сигнала аналого-цифровым преобразователем

а) время прибытия сигнала на базу (приемная антенна РПУ1), единица измерения – с;
запись в переменную **t0**;

б) время прибытия сигнала на приемную антенну РПУ2, единица измерения – с;
запись в переменную **t1**;

в) время прибытия сигнала на приемную антенну РПУ3, единица измерения – с;
запись в переменную **t2**;

г) время прибытия сигнала на приемную антенну РПУ4, единица измерения – с;
запись в переменную **t3**.

Список требуемых для работы функции входных данных на этом закончен.

3. Вычисляется задержка сигнала (1) – разность времени между регистрацией сигнала периферийным приемным устройством и базовым приемным устройством по каждому из направлений; запись в переменные **t_x**, **t_y**, **t_z**; единица измерения – с:

$$\Delta t_i = t_i - t_0, i = 1 \dots 3, \quad (1)$$

t_x = t1-t0;
t_y = t2-t0;
t_z = t3-t0.

4. Вычисляются расстояния от источника сигнала до каждой из периферийных приемных антенн РПУ (2); запись в переменные **r_x**, **r_y**, **r_z**; единица измерения – м:

$$\Delta r_i = \Delta t_i \times v_i, i = 1 \dots 3, \quad (2)$$

r_x = t_x * v _x;
r_y = t_y * v_y;
r_z = t_z * v_z.

5. Расчет промежуточных переменных, необходимых для дальнейшего вычисления значений модуля радиус-вектора **R** от базы до источника сигнала (см. рис. 1).

Нижеприведенные формулы выводятся из системы 4 уравнений, одно из которых описывает сферу с центром в точке **O** системы координат используемого ортонормированного базиса, радиус сферы равен **R**.

Каждое из других 3 уравнений, входящих в систему, описывает ветвь гиперболоида, один из фокусов которого расположен в точке O, а второй фокус – в точке с определенными координатами вдоль одного из орт, другие 2 координаты равны нулю, причем ветвь гиперболоида сонаправлена с соответствующим ортом [9]. Система уравнений, аналитическое решение и геометрический смысл рассмотрен в работе [9].

Разность расстояний от объекта – источника принимаемого сигнала до антенны РПУ и от объекта до антенны базы, пронормированная на расстояние между антенной базы и антенной отдельно взятого периферийного РПУ по одному из направлений (расстояние между фокусами одного из гиперболоидов, лежащими на одной из орт выбранного базиса), вычисляется по формуле (3):

$$a_i = \frac{\Delta r_i}{x_i} = \frac{v_i(t_i - t_0)}{x_i}, i = 1 \dots 3, \quad (3)$$

При этом $a_i \leq 1$, т.к. $\Delta r_i \leq x_i$. Отсюда следует, что необходимо установить ограничения на допустимые значения входных данных, что важно отразить в программе.

Вычисление и запись значения переменной $a_i = a_1 =$ **a_x**:

a_x = r_x/x_rpu

Вычисление и запись значения переменной $a_i = a_2 =$ **a_y**:

a_y = r_y/y_rpu

Вычисление и запись значения переменной $a_i = a_3 =$ **a_z**:

a_z = r_z/z_rpu

Произведение половины расстояния между антенной базы и антенной отдельно взятого периферийного РПУ (расстояния между фокусами отдельного гиперболоида, лежащими на одной из орт выбранного базиса), и разности квадратов единицы и нормированной по расстоянию между антеннами базового и периферийного РПУ разности расстояний от источника сигнала до антенны данного периферийного РПУ и от источника до приемной антенны базы вычисляется по формуле (4):

$$b_i = \frac{x_i(1-(a_i)^2)}{2} = \frac{1}{2}x_i \times (1-(a_i)^2) = \frac{1}{2}x_i \times (1-a_i)(1+a_i) = \\ = (\frac{x_i}{2} - \frac{x_i(a_i)^2}{2}), \quad i = 1 \dots 3, \quad (4)$$

Очевидно, что $\mathbf{b_i}$ является денормированной величиной.

Вычисление и запись значения переменной $b_i = b_1 =$ **b_x**:

b_x = x_rpu/2 * (1-((a_x)^2))

Вычисление и запись значения переменной $b_i = b_2 =$ **b_y**:

b_y = y_rpu/2 * (1-((a_y)^2))

Вычисление и запись значения переменной $b_i = b_3 =$ **b_z**:

b_z = z_rpu/2 * (1-((a_z)^2))

Сумма трех произведений отношения разности расстояний между источником принимаемого сигнала и антеннами периферийного и базового РПУ к расстоянию между антеннами данных РПУ и произведения половины расстояний между теми же антеннами и разности квадратов единицы и упомянутого отношения (нормированная величина a_i) вычисляется по формуле (5):

$$c_1 = \sum_{i=1}^{3} a_i\, b_i = \sum_{i=1}^{3} \frac{\Delta r_i}{x_i} \times \frac{1}{2} x_i (1 - (a_i)^2) = \sum_{i=1}^{3} \frac{\Delta r_i}{x_i} \times \left(\frac{x_i}{2} - \frac{x_i (a_i)^2}{2}\right), \quad (5)$$

Величина c_1 является ненормированной.

Вычисление и запись значения переменной **c1**:
c1 = a_x * b_x + a_y * b_y + a_z * b_z

Разность единицы и суммы квадратов трех значений отношения разности расстояний между источником принимаемого сигнала и антеннами периферийного и базового РПУ к расстоянию между антеннами данных РПУ вычисляется по формуле (6):

$$c_2 = (1 - ((a_i)^2 + (a_{i+1})^2 + (a_{i+2})^2), i = 1, \quad (6)$$

Величина c_2 является ненормированной.

Вычисление и запись значения переменной **c2**:
c2 = 1-((a_x)^2 + (a_y)^2 + (a_z)^2)

Сумма произведения суммы трех значений квадратов денормированных величин $\mathbf{b_i}$ на величину $\mathbf{c_2}$ и квадрата величины $\mathbf{c_1}$ вычисляется по формуле (7) (физический смысл величин определен выше):

$$d = (c_1)^2 + c_2((b_i)^2 + (b_{i+1})^2 + (b_{i+2})^2), i = 1, \quad (7)$$

Вычисление и запись значения переменной **d**:

d = (c1)^2 + c2*((b_x)^2 + (b_y)^2 + (b_z)^2)

6. Вычисляется модуль **R** (8) – длина радиус-вектора от центра установленной системы координат до источника сигнала, запись результатов в переменные **r_modul_1**, **r_modul_2**.

Модуль может принимать до 2-х значений. Так как модули представляют собой длину векторов в пространстве, то могут принимать только положительные значения.

$$R = \frac{c_1 \pm \sqrt{d}}{c_2}, \quad (8)$$

$$R = \frac{c_1}{c_2}, d = 0, \quad (9)$$

Формула (8) справедлива, если **d** ≥ 0. В случае, когда **d** = 0, будет получено единственное значение модуля, равное **c1/c2** (9). Когда **d** > 0, будет получено 2 значения.

Если **d** = 0, то **r_modul_1** = c1/c2, **r_modul_2** не вычисляется.

Если **d** > 0, то вычисляем два значения модулей:

r_modul_1 = (c1 + sqrt(d))/c2
r_modul_2 = (c1 - sqrt(d))/c2

Однако если в результате расчета любое из двух значений **R**, записанное в переменную **r_modul_1** или **r_modul_2**, является отрицательной величиной, то такое значение отбрасывается. В подобном случае для дальнейшего расчета берется только модуль с положительным расчетным значением.

r_modul_1 > 0, значение берется для расчета координат;
r_modul_2 > 0, значение берется для расчета координат.

r_modul_1 > 0, значение берется для расчета координат;
r_modul_2 < 0, значение отбрасывается.

r_modul_1 < 0, значение отбрасывается;
r_modul_2 > 0, значение берется для расчета координат.

7. Нахождение искомых координат (10) в заданной трехмерной системе координат, а именно одной или двух возможных точек местоположения источника сигнала, запись полученных результатов в переменные **x01**: (знач.); **y01**: (знач.); **z01**: (знач.) или/и **x02**: (знач.); **y02**: (знач.); **z02**.

$$Xист_i = a_i R_j + b_i, i = 1 \dots 3, j = 1 \dots 2, \quad (10)$$

В контексте данной задачи $Xист_i$ – координата источника сигнала по i-ой оси или X01 (X02), Y01 (Y02), Z01 (Z02) (11).

$$Xист_1 = x_{01(02)}, Xист_2 = y_{01(02)}, Xист_3 = z_{01(02)}, \quad (11)$$

Если **r_modul_1** > 0 и **r_modul_2** > 0, то

x01 = r_modul_1 * a_x + b_x
y01 = r_modul_1 * a_y + b_y
z01 = r_modul_1 * a_z + b_z

x02 = r_modul_2 * a_x + b_x
y02 = r_modul_2 * a_y + b_y
z02 = r_modul_2 * a_z + b_z

Если **r_modul_1** > 0 и **r_modul_2** < 0, то

x01 = r_modul_1 * a_x + b_x
y01 = r_modul_1 * a_y + b_y
z01 = r_modul_1 * a_z + b_z

Если **r_modul_2** > 0 и **r_modul_1** < 0, то

x02 = r_modul_2 * a_x + b_x
y02 = r_modul_2 * a_y + b_y
z02 = r_modul_2 * a_z + b_z

8. Передача полученных координат в функцию визуализации данных и последующий вывод трех координат каждой из возможных точек местоположения источника сигнала на дисплей в текстовом и графическом формате.

Дополнительной полезной функцией пеленгатора может быть получение информации о частотных характеристиках сигнала [16].

Предлагается осуществлять преобразование Фурье, используя алгоритм быстрого преобразования Фурье (англ. Fast Fourier Transform) (далее – FFT), исполняющий дискретное преобразование Фурье за время $\mathbf{O}(\mathrm{nlogn})$.

Для программирования данной функции на C++ можно импортировать библиотеку FFTW (англ. The Fastest Fourier Transform in the West) [17]. Функция с применением FFT к массивам данных в виде комплексных чисел позволит определить основную частоту, пиковую частоту и амплитуду регистрируемого сигнала, провести спектральный анализ.

Полученные результаты выводятся на дисплей.

Заключение

В настоящей работе в общей форме дан и разъяснен алгоритм разностно-дальномерного метода в формулировке и записи, адаптированной под задачу пеленгации импульсных сигналов в трехмерном пространстве с евклидовой метрикой. Суть метода состоит в нахождении точки пересечения трех гиперболоидов, фокусы которых располагаются вдоль ортонормированного базиса выбранной системы координат.

По сравнению с триангуляционным методом определения координат предлагаемый к рассмотрению метод позволяет обеспечить повышенную точность результатов в ближней зоне.

Вычислительная логика демонстрирует общую относительную простоту, что способствует вариативности реализации программного кода с использованием особенностей синтаксиса программных языков.

Также к алгоритму определения местоположения источника сигнала предлагается добавить функцию получения частотных характеристик с использованием быстрого преобразования Фурье и с помощью модулей соответствующей библиотеки.

Литература

1. Козин, Е. В. Метод определения координат объектов наблюдения с помощью

триангуляционных измерений / Е. В. Козин, Ю. А. Шлюпкин // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. – 2011. – № 631. – С. 124-129. – EDN RTKRFL.

2. Deza, M. M. Encyclopedia of distances / M. M. Deza, E. Deza, 2009. – 590 p. – ISBN 978-3-642-00233-5. – DOI 10.1007/978-3-642-00234-2. – EDN SLCUUX.

3. Мищенко, А. С. Курс дифференциальной геометрии и топологии : учебник / А. С. Мищенко, А. Т. Фоменко ; А. С. Мищенко, А. Т. Фоменко. – Изд. 3-е, перераб. и доп.. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2010. – 502 с. – ISBN 978-5-8114-0966-2. – EDN QJXMXV.

4. Смирнов, Ю. М. Курс аналитической геометрии / Ю. М. Смирнов ; Ю. М. Смирнов. – Москва : УРСС, 2005. – 221 с. – ISBN 5-354-00567-1. – EDN QJNJXJ.

5. Патент № 2258242 C2 Российская Федерация, МПК G01S 3/46, G01S 11/02. Разностно-дальномерный способ пеленгования источника радиоизлучения и реализующее его устройство : № 2003118800/09 : заявл. 23.06.2003 : опубл. 10.08.2005 / А. Г. Сайбель ; заявитель Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. – EDN DAQKJM.

6. Патент № 2296341 C1 Российская Федерация, МПК G01S 5/04. способ определения координат источника радиоизлучения : № 2005136630/09 : заявл. 24.11.2005 : опубл. 27.03.2007 / А. В. Терентьев, А. И. Соломатин, П. Л. Смирнов [и др.]. – EDN THDTLI.

7. Патент № 2647495 C1 Российская Федерация, МПК G01S 5/02. Мультипликативный разностно-относительный способ определения координат местоположения источника импульсного радиоизлучения : № 2017118702 : заявл. 29.05.2017 : опубл. 16.03.2018 / Ю. И. Логинов ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственное объединение "Центр обработки данных информационных технологий". – EDN ZEDSIX.

8. Патент № 2506605 C2 Российская Федерация, МПК G01S 5/00. Дальномерный способ и устройство определения координат источника радиоизлучения : № 2011153139/07 : заявл. 26.12.2011 : опубл. 10.02.2014 / Г. П. Бендерский, Е. А. Лаврентьев, А. А. Шаталов [и др.] ; заявитель Открытое акционерное общество "Научно-производственное объединение "Лианозовский электромеханический завод". – EDN VPHVTJ.

9. Климов, К. Н. Свойство гиперболоида в N-мерном пространстве с евклидовой метрикой / К. Н. Климов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : Сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции, Сочи, 01–10 октября 2022 года / Под редакцией 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, 2022. – С. 316-321. – EDN SIPUED.

10. Патент № 2765899 C1 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.

11. 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 UYKKGA.

12. 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.

13. Патент № 2766132 C1 Российская Федерация, МПК H01Q 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.

14. Климов, К. Н. Особенности численного электродинамического моделирования антенного полотна с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // 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. 178-183. – EDN UGCHDM.

15. Климов, К. Н. Электродинамическое моделирование волноводной приёмной антенны с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 1(29). – С. 61-68. – EDN XOUOOM.

16. Гольденберг Л. М. и др. Цифровая обработка сигналов: Справочник/Л. М. Гольденберг, Б. Д. Матюшкин, М. Н. Поляк. – М.: Радио и связь, 1985. — 312 с.

17. FFTW. Выпуск 3.3.10: программа / Институт MIT. США, 2021. Лицензия: MIT GPL 2.0. URL: https://www.fftw.org (дата обращения: 01.06.2023). Режим доступа: не требует регистрации.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГИБРИДНОГО СВЧ МЭМС-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ

Граблин В.В.
НИУ Московский Авиационный Институт
vagrablin@gmail.com

Рассмотрены основные преимущества гибридных СВЧ МЭМС-переключателей. Приведен их состав и принцип работы. Показаны основные этапы технологии производства и разработки конструкции.
Ключевые слова: микроэлектромеханические системы, принцип работы, технологии производства, управляющая система.

Construction development of a hybrid RF MEMS switch. Grablin V.V., MAI.
The main advantages of hybrid RF MEMS switches are considered. Their composition and principle of operation are given. Shows the main stages of production technology and design development.
Keyword: microelectromechanical systems (MEMS), operating principle, manufacturing technologies, control system

Введение

В современном мире связи и электроники все большую роль играют гибридные СВЧ (сверхвысокочастотные) микроэлектромеханические системы (МЭМС). Эти инновационные устройства объединяют в себе преимущества микроэлектромеханики и радиочастотной технологии, предоставляя новые возможности в области коммутации сигналов, фильтрации, усиления и трансляции радиосигналов [1].

В данной статье мы рассмотрим разработку конструкции гибридного СВЧ МЭМС-переключателя более подробно, охватывая выбор материалов, оптимизацию механических структур, управляющую электронику и технологии производства. Также будет рассмотрено будущее направление развития и потенциальное применение гибридных СВЧ МЭМС-переключателей в радиочастотных системах.

Постановка задачи

Гибридный СВЧ МЭМС-переключатель — это устройство, используемое в радиочастотных системах для коммутации сверхвысокочастотных сигналов [1-6]. Он состоит из коммутационного элемента, обычно представленного механическими структурами, и управляющей электроники, обеспечивающей переключение состояний. Гибридные СВЧ МЭМС-переключатели объединяют преимущества микроэлектромеханики и радиочастотной технологии, обеспечивая высокую производительность и эффективность в радиочастотных приложениях [2,5].

Преимущества

1. Низкие потери сигнала: Гибридные СВЧ МЭМС-переключатели обладают низкими потерями в радиочастотных сигналах. Благодаря оптимизированным механическим структурам и эффективной управляющей электронике, эти переключатели обеспечивают передачу сигналов с минимальными потерями и искажениями, сохраняя высокое качество и четкость сигнала [2-4].
2. Широкий диапазон рабочих частот: Гибридные СВЧ МЭМС-переключатели способны работать в широком диапазоне рабочих частот, что делает их универсальными для различных приложений. Они могут коммутировать сигналы в диапазоне от нескольких гигагерц до нескольких десятков гигагерц, что позволяет использовать их в различных сверхвысокочастотных системах [2,3].
3. Высокая изоляция: Гибридные СВЧ МЭМС-переключатели обеспечивают высокий уровень изоляции между различными состояниями. Это позволяет минимизировать перекрестные помехи и обеспечивать надежную работу системы, сохраняя четкость и чистоту сигнала [3,5].
4. Низкое энергопотребление: Гибридные СВЧ МЭМС-переключатели потребляют небольшое количество энергии благодаря применению механических структур и эффективной управляющей электроники. Это делает их энергоэффективными и способствует снижению энергозатрат в радиочастотных системах [1-6].
5. Малые габариты и вес: Гибридные СВЧ МЭМС-переключатели имеют компактный размер и небольшой вес, что делает их удобными для интеграции в различные электронные устройства. Они занимают минимальное пространство на плате и позволяют сократить размеры системы, особенно в случае использования в портативных и мобильных устройствах [5,7,8].

Гибридные СВЧ МЭМС-переключатели представляют собой важный элемент в современных радиочастотных системах, обеспечивая высокую производительность, надежность и энергоэффективность. Их преимущества делают их привлекательным выбором для различных

приложений, включая беспроводные коммуникации, радиосвязь, радарные системы и многие другие [2,7,8].

Основные компоненты

1. Коммутационный элемент: Коммутационный элемент является ключевым компонентом гибридного СВЧ МЭМС-переключателя. Он обычно состоит из механических структур, таких как рычаги, пластины или диафрагмы. Эти структуры могут быть изготовлены из различных материалов, обладающих хорошей механической прочностью и электропроводностью [6,7].
2. Управляющая электроника: Управляющая электроника отвечает за управление состояниями переключателя. Она включает в себя электрические схемы и устройства, которые позволяют контролировать перемещение коммутационного элемента и переключать его между состояниями [6-9]. Управляющая электроника может включать микроконтроллеры, драйверы, сенсоры и другие компоненты.

Принцип работы

Принцип работы гибридного СВЧ МЭМС-переключателя основан на механическом перемещении коммутационного элемента, которое контролируется управляющей электроникой. Переключатель может находиться в двух состояниях: открытом и закрытом.

В открытом состоянии механические структуры коммутационного элемента разъединены, что позволяет сверхвысокочастотному сигналу свободно пройти через переключатель. В закрытом состоянии механические структуры соединены, блокируя прохождение сигнала [7-10].

Управляющая электроника с помощью сигналов управления передает команды на перемещение коммутационного элемента, вызывая переключение состояний переключателя. Это может быть достигнуто путем применения электростатических, электромагнитных или пьезоэлектрических сил для управления механическими структурами [8,10].

Принцип работы гибридного СВЧ МЭМС-переключателя обеспечивает быстрое и надежное переключение сигналов в радиочастотных системах, минимизируя потери и обеспечивая требуемую изоляцию между различными состояниями [5,9].

Технологии производства

Технологии производства гибридных СВЧ МЭМС-переключателей включают несколько этапов, объединяющих микроэлектромеханические системы (МЭМС) и радиочастотные (РЧ) компоненты. Вот некоторые из основных технологий, применяемых при производстве гибридных СВЧ МЭМС-переключателей:

1. Литография: Литография является ключевым процессом в производстве гибридных СВЧ МЭМС-переключателей. Она позволяет создать микронные структуры на поверхности материала, используя фоточувствительные резисты и оптические маски. Литография определяет форму и размеры механических структур коммутационного элемента и управляющих электродов [10].
2. Нанесение итрофторидного кремния (SiNx): Итрофторидное кремниевое покрытие широко используется для создания пленочных структур и изоляции в гибридных СВЧ МЭМС-переключателях. Это позволяет достичь высокой электрической изоляции между электродами и уменьшить эффекты механического трения и затухания [10-15].
3. Нанесение металлических слоев: Металлические слои, обычно состоящие из платины (Pt), золота (Au) или алюминия (Al), используются для создания электродов и контактных площадок в гибридных СВЧ МЭМС-переключателях [11,12]. Они обеспечивают электрическую связь между коммутационным элементом и управляющей электроникой.
4. Этап сборки и монтажа: После процессов литографии и нанесения слоев происходит этап сборки и монтажа компонентов. Механические структуры коммутационного элемента и управляющая электроника соединяются и фиксируются на подложке или корпусе. В этом этапе также могут включаться процессы связи проводников, создания проводящих мостиков и монтажа электрических контактов [10,13].
5. Тестирование и калибровка: После сборки гибридные СВЧ МЭМС-переключатели проходят процесс тестирования и калибровки. Это включает проверку электрических параметров, таких как вносимые потери, изоляция и время переключения, чтобы гарантировать их соответствие заданным спецификациям и надежную работу в радиочастотных системах [10,14].

Технологии производства гибридных СВЧ МЭМС-переключателей продолжают развиваться, включая применение новых материалов, улучшение точности литографии и оптимизацию процессов сборки. Это позволяет создавать более компактные, эффективные и надежные переключатели для широкого спектра радиочастотных приложений [12-16].

Процесс разработки гибридного СВЧ МЭМС-переключателя обычно включает несколько этапов, начиная с концептуального проектирования и заканчивая изготовлением прототипа. Вот общая последовательность этапов разработки:

1. Определение требований: На этом этапе определяются требования к гибридному СВЧ МЭМС-переключателю. Это включает задание рабочих частот, уровня потерь, изоляции, времени переключения, механической прочности и других характеристик, которые должны быть достигнуты [14,16].
2. Концептуальное проектирование: Используя определенные требования, проводится концептуальное проектирование гибридного СВЧ МЭМС-переключателя. В этом процессе определяется общая архитектура, форма и механические особенности коммутационного элемента, электродов и управляющей электроники [12-20].
3. Моделирование и симуляция: С помощью специализированных программных инструментов проводятся моделирование и симуляция работы гибридного СВЧ МЭМС-переключателя. Это позволяет проверить его производительность, электрические и механические характеристики, а также оптимизировать его дизайн перед физической реализацией [13,16].
4. Дизайн и разработка микроэлектромеханических структур: На основе концептуального проектирования разрабатывается детальный дизайн микроэлектромеханических структур коммутационного элемента, включая геометрию, размеры и материалы. В этом этапе учитываются механические и электрические свойства материалов, а также требования к производству и сборке [8-15].
5. Дизайн и разработка управляющей электроники: Вместе с микроэлектромеханическими структурами разрабатывается управляющая электроника, которая будет контролировать состояния переключателя. Это включает разработку схем управления, выбор и расчет соответствующих компонентов, таких как драйверы, микроконтроллеры и сенсоры [18,20].
6. Изготовление прототипа: После завершения дизайна гибридного СВЧ МЭМС-переключателя проводится его изготовление прототипа. Это включает использование специализированных процессов микрофабрикации для создания микроэлектромеханических структур, нанесение металлических слоев и сборку компонентов [15-20].
7. Тестирование и характеризация: Изготовленный прототип гибридного СВЧ МЭМС-переключателя подвергается тестированию и характеризации. Это включает проверку его электрических параметров, времени переключения, потерь, изоляции и других характеристик, чтобы оценить соответствие требованиям и производительность переключателя.
8. Оптимизация и доработка: На основе результатов тестирования и характеризации проводится оптимизация и доработка гибридного СВЧ МЭМС-переключателя. Это может включать внесение изменений в дизайн, материалы или процессы производства с целью улучшения его производительности и надежности.

Процесс разработки гибридного СВЧ МЭМС-переключателя требует интеграции знаний и опыта в области микроэлектромеханики, радиочастотной техники, дизайна электронных схем и процессов микрофабрикации. Это позволяет создавать инновационные и эффективные переключатели для различных приложений в радиосвязи, радарах, медицинской технике и других областях [17,19].

Заключение

Таким образом были рассмотрены основные преимущества гибридных СВЧ МЭМС-переключателей, приведен их состав и принцип работы, показаны основные этапы технологии производства и разработки конструкции.

Также отметим, что гибридные СВЧ МЭМС-переключатели имеют огромный потенциал для развития в различных областях. Вот некоторые будущие направления и потенциальные применения гибридных СВЧ МЭМС-переключателей:

1. Беспроводные коммуникации: Гибридные СВЧ МЭМС-переключатели могут быть применены в беспроводных системах связи, таких как мобильные сети, Wi-Fi, Bluetooth и другие. Они могут обеспечивать быструю и надежную коммутацию между антеннами, что позволяет повысить пропускную способность, улучшить качество связи и расширить покрытие [16,18].
2. Радарные системы: В радарных системах гибридные СВЧ МЭМС-переключатели могут использоваться для коммутации между различными антеннами и каналами приема-передачи. Это позволяет улучшить разрешение, точность и скорость обнаружения целей, а также обеспечить лучшую адаптивность к изменяющимся условиям и сценариям работы [15,19].
3. Медицинская техника: Гибридные СВЧ МЭМС-переключатели могут быть применены в медицинской технике, например, в медицинских изображениях и терапевтических системах. Они могут обеспечивать точную коммутацию между различными сенсорами, антеннами и устройствами, что позволяет получать более высокое качество изображений и обеспечивать эффективное лечение пациентов [17,18].

4. Автомобильная промышленность: В автомобильной промышленности гибридные СВЧ МЭМС-переключатели могут использоваться для коммутации между различными антеннами, сенсорами и системами связи в автомобилях. Они могут повысить эффективность и надежность систем навигации, связи и безопасности, а также обеспечить более удобное и безопасное взаимодействие автомобилей с окружающей средой [19,20].

5. Оборонная промышленность: В военных и оборонных системах гибридные СВЧ МЭМС-переключатели могут быть использованы для коммутации между различными антеннами, радиолокационными системами и связью. Они обеспечивают высокую производительность, быстрое реагирование и высокую изоляцию, что важно для операций разведки, обнаружения и защиты [20].

6. Космическая промышленность: В космической промышленности гибридные СВЧ МЭМС-переключатели могут использоваться в спутниках, космических аппаратах и системах связи. Они обеспечивают высокую производительность при минимальных размерах и весе, что критически важно в космической среде с ограниченными ресурсами [18].

Гибридные СВЧ МЭМС-переключатели продолжают развиваться и находить новые применения во многих областях. Их компактность, низкая потеря во время коммутации, быстрое время переключения и высокая надежность делают их важным элементом для передовых радиочастотных систем и технологий.

Литература

1. Rebeiz, G.M. RF MEMS: Theory, Design, and Technology. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2003.

2. Патент № 2765899 C1 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.

3. Васильев В.К., Морозов А.С. Микроэлектромеханические системы: Учебник. Москва: Солон-Пресс, 2013.

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 UYKKGA.

5. Бондаренко Ю.А., Котин И.А., Шихалеев Д.А. Микроэлектромеханические системы. Москва: Изд-во Московского физико-технического института, 2012.

6. 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.

7. Rais-Zadeh, M., Rebeiz, G.M. MEMS Switches and Integrated Switching Circuits. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010.

8. Патент № 2766132 C1 Российская Федерация, МПК H01Q 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.

9. Абрамов А.М., Градобоев А.А., Исаев С.Ю. Микроэлектромеханические системы: Учебное пособие. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2018.

10. Климов, К. Н. Особенности численного электродинамического моделирования антенного полотна с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // 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. 178-183. – EDN UGCHDM.

11. Лисицин А.И., Ткаченко А.Г., Борисов Д.В. Микроэлектромеханические системы и устройства. Москва: Радиотехника, 2011.

12. Климов, К. Н. Электродинамическое моделирование волноводной приёмной антенны с рабочей полосой частот октава / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 1(29). – С. 61-68. – EDN XOUOOM.

13. Гаврилов В.С., Курин В.В., Лебедев Г.А. Микроэлектромеханические системы и их применение. Москва: Наука, 2003.

14. 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.

15. Герасимов А.М., Шматов Д.В. Микроэлектромеханические системы. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015.

16. Климов, К. Н. Численное электродинамическое моделирование вибратора с наклонными плечами в канале Флоке с использованием импедансносогласованного материала / К. Н. Климов // Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. – № 2(30). – С. 39-46. – EDN UJIVJD.

17. El-Gamal, M.N., El-Gabaly, M.A. MEMS Switches for RF Applications. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2015.

18. 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.

19. Mohammadi, S. RF MEMS Theory, Design, and Technology. Cham, Switzerland: Springer, 2018.

20. Дризе, А. Д. Электродинамическое моделирование селекторов поляризаций 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.

СОЗДАНИЕ RESTFUL BACKEND API С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ NESTJS, АУТЕНТИФИКАЦИИ JWT И БАЗЫ ДАННЫХ TYPEORM ДЛЯ MSSQL

Фам Ван Ты, Долматов А.В.*, Лыу Нгок Тиен*
Центральный Военный Госпиталь, Ханой, Вьетнам; *РТУ-МИРЭА

В данной статье представлен метод создания Restful Backend API с использованием фреймворка NestJS, аутентификации с помощью JSON Web Token (JWT) и взаимодействия с базой данных Microsoft SQL Server (MSSQL) с помощью TypeORM. NestJS оценивается как вариант для построения надежных API. Аутентификация с помощью JWT обеспечивает безопасную и защищенную передачу данных между клиентом и сервером, а использование TypeORM позволяет упростить взаимодействие с базой данных, предоставляя возможность работать с данными в объектно-реляционной форме.

Ключевые слова: Restful Backend API, JSON Web Token (JWT), Microsoft SQL Server (MSSQL), TypeORM, NestJS.

Building restful backend API using NestJS, authentication with JWT and TypeORM database for MSSQL. Pham Van Tu, Dolmatov A.V.*, Luu Ngoc Tien*. Military Central Hospital, Hanoi, Viet Nam; *RTU-MIREA

This article presents the creation of a Restful Backend API using the NestJS framework, implementing authentication with JSON Web Token (JWT), and interacting with the Microsoft SQL Server (MSSQL) database using the TypeORM ORM library. NestJS provides code structuring and extensibility, making it an excellent choice for building scalable and reliable APIs. Authentication with JWT ensures secure and protected data transmission between the client and server, while the use of TypeORM simplifies the interaction with the database by providing the ability to work with data in an object-relational manner.

Keywords: Restful Backend API, JSON Web Token (JWT), Microsoft SQL Server (MSSQL), TypeORM, NestJS.

Введение

Важность безопасности и надежности Backend API не может быть недооценена, особенно при обработке конфиденциальных данных и личной информации пользователей[4]. Обеспечивая взаимодействие между клиентскими приложениями и базой данных, Backend API является сердцем приложения. Современные веб-технология и мобильные приложения требует от разработчиков создания надежных, безопасных и эффективных Backend API.

В этой статье представлена последовательность построения безопасного Restful Backend API с использованием фреймворка NestJS и популярного фреймворка Node.js, который является эффективным средством для разработки серверных приложений. А также представлены подход реализации аутентификации пользователей с помощью JSON Web Token (JWT), механизм для обеспечения безопасной передачи данных между клиентом и сервером.

1. Фреймворк NestJS и JSON Web Token (JWT)

NestJS – современный, прогрессивный фреймворк, предназначенный для разработки масштабируемых и модульных серверных приложений на платформе Node.js. Основан на принципах инверсии управления (Inversion of Control, IoC) и внедрения зависимостей (Dependency Injection, DI), что содействует структурированности и легкости тестирования кода. В рамках NestJS доступны мощные

средства для создания маршрутов, контроллеров, провайдеров и middleware, упрощая тем самым процесс разработки и поддержки приложения[1, 6].

JSON Web Token (JWT) – это открытый стандарт (RFC 7519), который определяет компактный и автономный формат для представления информации о пользователе в виде токена. Для обеспечения безопасной передачи информации между клиентом и сервером, JWT использует цифровые подписи для проверки подлинности токена. После успешной аутентификации пользователь получает AccessToken, содержащий информацию о нем. Этот токен отправляется клиентом с каждым запросом для доступа к защищенным ресурсам. Такой подход устраняет необходимость передачи логина и пароля с каждым запросом, обеспечивая при этом повышенную безопасность.

AccessToken имеет ограниченное время действия, что способствует безопасности. При истечении срока действия Access token, пользователь обычно должен повторно пройти аутентификацию для получения нового токена. Однако это может быть неудобным и вести к потере данных и сеансов. Для решения данной проблемы применяется автоматическое обновление Access token с использованием Refresh token. Refresh token – это токен с более длительным сроком действия, предназначенный для обновления Access token без необходимости повторной аутентификации. В случае истечения срока действия Access token, клиент отправляет Refresh token на сервер, и тот генерирует новый Access token автоматически, обеспечивая бесперебойную работу пользователя.

2. Использование TypeORM с MSSQL

TypeORM представляет собой современный ORM для TypeScript и JavaScript, способствующий удобному объектно-реляционному отображению данных. С использованием классов и объектов, этот инструмент делает взаимодействие с базами данных более ясным и поддерживаемым. Применение TypeORM дает несколько преимуществ, включая кросс-платформенность и возможности миграций для эффективного управления изменениями в базе данных. Дополнительным плюсом является удобное API [1, 2].

MSSQL - это выдающаяся реляционная система управления базами данных, разработанная Microsoft. Она славится своей мощностью, надежностью и масштабируемостью в управлении структурированными данными. MSSQL предоставляет высокую производительность и стабильность, что делает ее выбором для хранения и управления данными. Ее интеграция с другими продуктами и технологиями Microsoft делает разработку приложений для платформы Windows удобной и совместимой. Сочетание TypeORM с MSSQL создает возможность построения мощных и надежных Backend API, обеспечивая удобство работы с базой данных через ORM и обеспечивая стабильное хранение и обработку данных с использованием MSSQL. Этот подход обеспечивает прочную основу для разработки масштабируемых приложений, способных обрабатывать большие объемы данных с высокой производительностью.

В этой статье описан метод создания безопасного и эффективного Restful Backend API с использованием фреймворка NestJS, аутентификации через JWT и взаимодействия с базой данных Microsoft SQL Server (MSSQL) с применением TypeORM в качестве ключевых компонентов.

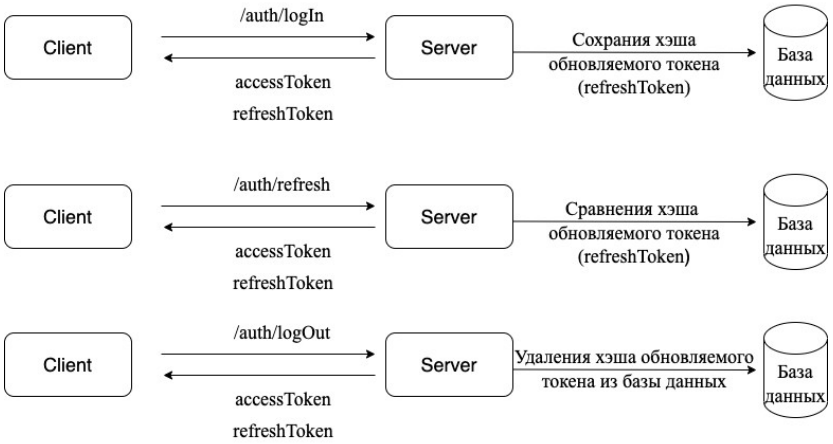


Рисунок 1 – Принципиальная схема аутентификации с помощью refreshToken

3. Подключение к базе данных MSSQL для Nestjs, интегрированное с TypeORM.

Для обеспечения эффективного взаимодействия с базой данных MSSQL и интеграции с TypeORM, необходимо выполнить ряд шагов. В данной статье представлен подход к подключению к базе данных MSSQL с использованием NestJS и настройке TypeORM для работы с данными[5, 7, 8].

Шаг 1: Установка драйвера MSSQL. Перед началом работы с базой данных MSSQL в NestJS, вам следует установить пакет mssql, предоставляющий удобные инструменты для взаимодействия с базой данных MSSQL.

Шаг 2: Конфигурация подключения к базе данных. В NestJS для этой цели можно воспользоваться файлами **database.provider.ts** и **database.module.ts**, используя модуль TypeOrmModule.

src > database > database.module.ts > ...

```ts
import { Module } from '@nestjs/common';
import { databaseProviders } from './database.providers';

@Module({
  providers: [...databaseProviders],
  exports: [...databaseProviders],
})
export class DatabaseModule {}
```

Рисунок 2 – Настройка файла **database.module.ts**

src > database > database.providers.ts > ...

```ts
import { DataSource } from 'typeorm';

export const databaseProviders = [
  {
    provide: 'DATA_SOURCE',
    useFactory: async () => {
      const dataSource = new DataSource({
        type: 'mssql',
        host: 'localhost',
        port: 1433,
        username: 'sa',
        password: '123456aA@$',
        database: 'QLCV',
        entities: [__dirname + '/../**/*.entity{.ts,.js}'],
        synchronize: true,
        extra: {
          trustServerCertificate: true,
        },
      });

      return dataSource.initialize();
    },
  },
];
```

Рисунок 3 – Настройка файла **database.provider.ts**

Шаг 3: Настройка аутентификации с использованием JWT и автоматической генерации refreshToken. Создание файла **auth.module.ts** для установки аутентификации с использованием JWT и автоматической генерации refreshToken.

src > auth > auth.module.ts > ...

```ts
import { DatabaseModule } from 'src/database/database.module';

@Module({
  imports: [
    AccountModule,
    PassportModule,
    RefreshTokenModule,
    DatabaseModule,
    JwtModule.register({
      global: true,
      secret: jwtConstants.secret,
      signOptions: { expiresIn: '60s' },
    }),
  ],
  providers: [
    AuthService,
    JwtStrategy,
    RefreshTokenService,
    ...RefreshTokenProviders,
  ],
  controllers: [AuthController],
  exports: [AuthService, JwtModule, RefreshTokenService],
})
export class AuthModule {}
```

Рисунок 4 – Настройка файла **auth.module.ts**

Шаг 4: Настройка сервиса аутентификации: файл **auth.service.ts.**

src > auth > auth.service.ts > ...

```typescript
@Injectable()
export class AuthService {
  constructor(
    private accountService: AccountService,
    private jwtService: JwtService,
    private refreshTokenService: RefreshTokenService,
  ) {}

  async signIn(email: string, pass: string) {
    const account = await this.accountService.findOne(email);
    console.log('account', account);
    if (!account) {
      throw new UnauthorizedException('Аккаунт не существует.');
    }
    const isPasswordMatch = await bcrypt.compare(pass, account.password);
    if (!isPasswordMatch) {
      throw new UnauthorizedException('Неверный пароль.');
    }
    // const qrCode = account.qrCode;
    // const isConfirmed = account.isConfirmed;
    const payload = {
      sub: account.id,
      username: account.fullName,
      email: account.email,
    };
    const accessToken = await this.jwtService.signAsync(payload, {
      expiresIn: '60s',
    });
    const refreshToken = await this.jwtService.signAsync(payload, {
      expiresIn: '70d',
    });
    await this.refreshTokenService.saveRefreshToken(payload.sub, refreshToken);
    return { accessToken, account };
  }
  // Сохраните RefreshToken в базе данных, когда пользователь войдет в систему,
  // затем проверьте и заново сгенерируйте AccessToken, когда срок действия AccessToken истечет:
  async refreshAccessToken(refreshToken: string) {
    console.log('refreshTokenEntity chua vao database', refreshToken);
    // Проверьте, действителен ли RefreshToken
    const refreshTokenEntity = await this.refreshTokenService.findTokenByValue(
      refreshToken['token'], // Cannot read properties of undefined (reading 'token')
    );
    console.log('refreshTokenEntity', refreshTokenEntity);
    console.log('refreshToken', refreshToken);
    if (!refreshTokenEntity) {
      throw new UnauthorizedException('RefreshToken недействителен.');
    }
    // Проверьте наличие AccessToken с истекшим сроком действия и при необходимости обновите его
    const userId = await this.jwtService.verify(refreshToken['refreshToken']);
    const payload = { sub: userId.sub };
    const newAccessToken = await this.jwtService.signAsync(payload, {
      expiresIn: '60s',
    });
    return newAccessToken;
  }
  async validateUser(payload: JwtPayload): Promise<any> {
    const userId = payload.sub;
    const user = await this.accountService.findOneById(userId);
    if (!user) {
      throw new UnauthorizedException('Недействительный пользователь.');
    }
    return user;
  }
}
```

Рисунок 5 – Настройка файла **auth.service.ts**

После успешной аутентификации будет создан AccessToken (AT) и RefreshToken (RT), которые будут сохранены в базе данных. Также будет проводиться проверка наличия AccessToken с истекшим сроком действия и, при необходимости, его обновление.

Шаг 5: Создание контроллера аутентификации: файл **auth.controller.ts**.

В контроллере аутентификации определяются различные маршруты (эндпоинты), которые обрабатывают запросы от клиентов, связанные с аутентификацией. Сюда входят запросы на вход в систему, выход из системы, запрос нового Access Token через Refresh Token и другие.

Примеры методов, которые можно определить в контроллере аутентификации:

- Метод для входа в систему (login): Здесь обрабатывается запрос от пользователя с учетными данными (например, логин и пароль), происходит аутентификация пользователя, а затем выдача Access Token и Refresh Token.

- Метод для обновления Access Token (refresh token): Этот метод обрабатывает запрос на обновление Access Token с использованием Refresh Token, когда срок действия Access Token истекает.

src > auth > auth.controller.ts > ...

```typescript
export class AuthController {
  constructor(private authService: AuthService) {}
  @HttpCode(HttpStatus.OK)
  @Post('login')
  async signIn(@Body() signInDto: Record<string, any>) {
    const res: any = await this.authService.signIn(
      signInDto.email,
      signInDto.password,
    );
    if (res.error === 1) {
      return res;
    }
    return res;
  }
  @Post('refreshtoken')
  async refreshToken(@Body() refreshToken: string) {
    const newAccessToken = await this.authService.refreshAccessToken(
      refreshToken,
    );
    console.log('newAccessToken', newAccessToken);
    return { accessToken: newAccessToken };
  }
  // chay theo nang cao, dang dung cai nay
  @UseGuards(JwtAuthGuard) // khi co dong nay, thi can truyen AT cao header
  @Get()
  protectedRoute(@Request() req) {
    //@Request() la lay data ra, co the bo qua @request()
    // К этому моменту информация о пользователе была аутентифицирована и сохранена в переменной `req.user`
    // Использовать информацию о пользователе для выполнения других операций безопасности
    return 'Это защищенный route!';
  }
}
```

Рисунок 6 – Настройка методов для входа в систему (Login) и для обновления accessToken (refreshToken)

Шаг 7: Реализация автоматической генерации Refresh token: файл **refreshToken.modul.ts** и подключить его в **файле app.module.ts**.



Рисунок 7 – Настройка файла **refreshToken.modul.ts**

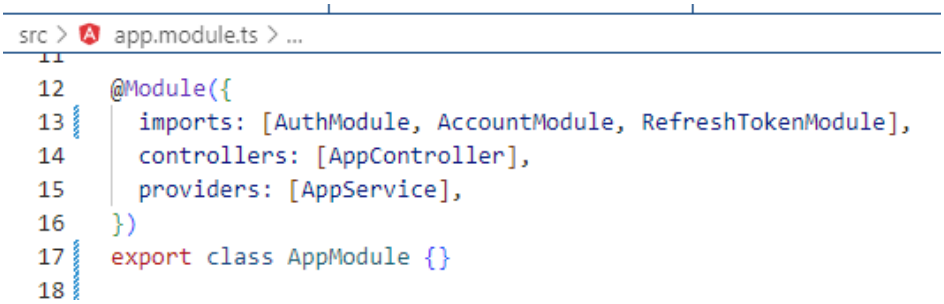


Рисунок 8 – Подключние **refreshToken.modul.ts** в файле **app.module.ts**

4. Проверка

Сервер будет запущен по адресу http://localhost:3000/. Теперь возможно воспользоваться Postman или другими инструментами для тестирования API. В случае отправки запросов к защищенным маршрутам с Access token, система автоматически обновит его, когда истечет срок его действия, при условии наличия Refresh token в запросе.

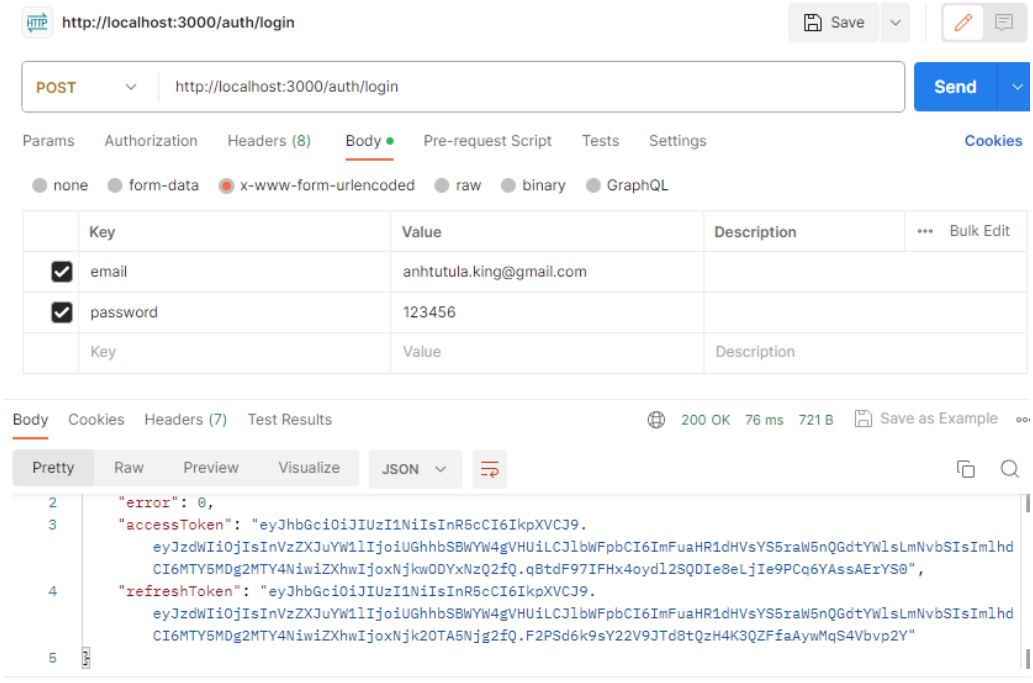


Рисунок 9 – Метод для входа в систему (Login)

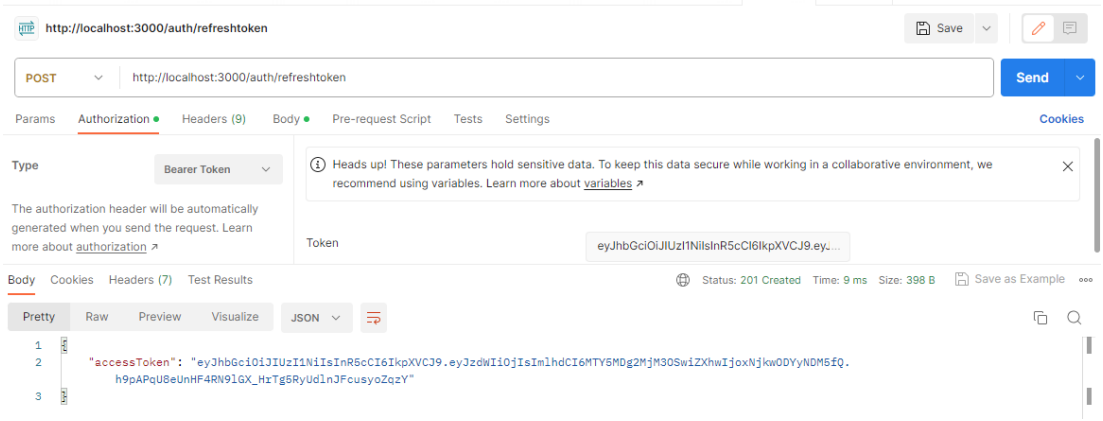


Рисунок 10 – Метод для обновления accessToken (Refresh)

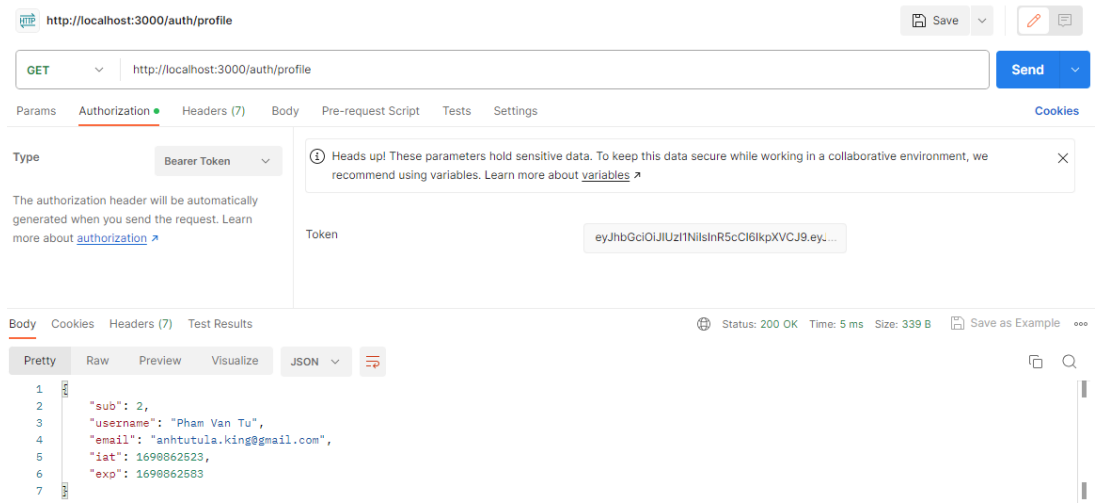


Рисунок 11 – Метод аутентификация accessToken

Заключение

В данной статье подробно описан процесс подключения к базе данных MSSQL для NestJS с использованием TypeORM. Также рассмотрено создание Restful Backend API с применением NestJS, реализация аутентификации через JWT и интеграция автоматической генерации Refresh token для обновления Access token после его истечения. Теперь ваше API гарантирует безопасную и непрерывную работу для пользователей, что важно в разработке современных веб-приложений.

NestJS предоставляет удобный и мощный набор инструментов для создания масштабируемых и надежных API. Внедрение функциональности аутентификации с JWT и автоматической генерацией Refresh token усиливает эффективность и безопасность этого инструмента.

При разработке Backend API с помощью NestJS, вы выигрываете множество преимуществ:

- Структурированный и модульный код: NestJS предоставляет мощные инструменты для организации кода в модули, что упрощает процесс разработки и поддержки проекта.

- Интегрированная поддержка TypeORM: Использование TypeORM позволяет удобно взаимодействовать с базой данных, представляя ее в виде объектов и обеспечивая безопасную работу с данными.

- Эффективная система аутентификации: Благодаря встроенной поддержке Passport и JwtModule, реализация аутентификации через JWT и автоматическую генерацию Refresh token становится простой задачей.

- Автоматизированная обработка refreshToken: Middleware **refreshToken.modul.ts** гарантирует автоматическое обновление Access token по истечении срока его действия, обеспечивая удобство и непрерывность пользовательского опыта.

- Гибкость и масштабируемость: Благодаря гибкой архитектуре и применению модульности, NestJS легко масштабируется и позволяет добавлять новые функции в ваше API.

В заключение, NestJS является мощным инструментом для разработки эффективных и надежных Backend API. Комбинация аутентификации через JWT с автоматической генерацией refreshToken

обеспечивает удобство и безопасность для пользователей, сделав ваше приложение надежным и успешным.

Литература

1. A. D. Pham, Developing back-end of a web application with NestJS framework: Case: Integrify Oy's student management system (praca licencjacka), (2020).
2. Greg Magolan_ Jay Bell - Nest.js- A Progressive Node.js Framework (2020).pdf
3. Przemysław S.R. Comparative Analysis of the Net 6 and NestJS Programming Frameworks in Terms of their Suitability for User Authentication and Authorization JCSI 27 (2023) 104–111 Received: 17 October 2022 Accepted: 20 November 2022.
4. Osama M. A. AL-Atraqchi A Proposed Model for Build a Secure Restful API to Connect between Server Side and Mobile Application Using Laravel Framework with Flutter Toolkits, Cihan University, August 2022Cihan University-Erbil Scientific Journal 6(2):28-35 DOI:10.24086/cuesj.v6n2y2022.pp28-35.
5. API with NestJS #3. Authenticating users with bcrypt, Passport, JWT, and cookies, https://wanago.io/2020/05/25/api-nestjs-authenticating-users-bcrypt-passport-jwt-cookies/
6. Json Web Token, https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7519.
7. SQL (TypeORM), https://docs.nestjs.com/recipes/sql-typeorm
8. NestJS - https://docs.nestjs.com/security/authentication.

МЕТОД ДЛЯ МАКСИМАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТЬЮ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

Эбрахим А., Иванов И.А., Али А.
Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа Экономики»,
+7 (966) 093-89-83, aebrakhim@hse.ru

Статья посвящена разработке метода оптимального размещения точек доступа и шлюзов внутри помещений. В работе предлагается математическая модель оптимизации, основанная на генетическом недоминируемом алгоритме сортировки II, а также проводится сравнение полученных результатов работой профессионального программного обеспечения.
Ключевые слова: точка доступа, шлюз, покрытие, NSGA II, модель распространения.

A method for maximizing wireless network coverage inside buildings. Ebraheem A., Ivanov I.A., Ali A. HSE University.
The article is devoted to the development of a method for automatically placing access points and gateways indoors. The paper uses a mathematical optimization model based on the non-dominated sorting genetic algorithm II, and also compares the obtained results with the results obtained by a professional software.
Keywords: access point, gateway, coverage, NSGA II, propagation model.

Введение

Беспроводные системы широко используются в различных условиях и высоко ценятся за их доступность, гибкость, экономическую эффективность и поддержку мобильности [1]. Планирование надежной и доступной беспроводной локальной сети (WLAN) имеет решающее значение поскольку оно обеспечивает бесперебойную связь и оптимальную производительность. С увеличением зависимости от беспроводных технологий требования к высокоскоростному и надежному подключению стали более важными, чем когда-либо ранее. Планирование беспроводных сетей включает определение оптимального размещения точек доступа или шлюзов, выбор соответствующих частот и настройку сетевых параметров для обеспечения максимального охвата и минимальных помех. Определение оптимального размещения требует расчета затухания сигнала и обеспечение положительного бюджета канала связи в ключевых зонах. Бюджет канала относится к расчету разницы между усилением и потерями при прохождении радиосигнала от передатчика к приемнику с учетом чувствительности приемника и мощности передаваемого сигнала. Обычно потери и усиления, связанные с приемником, передатчиком, антеннами и используемыми кабелями, указываются производителями в технической документации. Таким образом, необходим расчет потерь, которые испытывает сигнал между антеннами обеих сторон канала связи. Вычислив потери и зная передаваемую мощность на выходе антенны передатчика, можно определить мощность, принимаемую антенной приемника.

Постановка задачи

Для обеспечения высокого качества связи внутри здания необходимо оптимально распределить трансиверы и сетевые устройства. Выполнение этого вручную требует много времени и не дает гарантий

оптимальности. Основная цель данной работы – расположить точки доступа или шлюзов внутри здания (одноэтажного) оптимальным и автоматическим образом. Оптимальность означает получение максимального покрытия внутри здания. Входные данные для расчетов формируются в виде файла csv с координатами стен и их характеристики. После этого с помощью алгоритмов оптимизации и моделей распространения радиоволн необходимо выбрать оптимальное положение шлюзов или точек доступа. Рассматривается алгоритм NSGA II (англ. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm). Алгоритм является вариантом генетического алгоритма и впервые предложен в [2]. Алгоритм помогает диверсифицировать решения, найденные на фронте Парето. Он тоже является одним из элитарных алгоритмов, которые следят за тем, чтобы лучшие решения не были отброшены, а наоборот переданы непосредственно в следующее поколение.

Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть модели распространения сигнала. В зависимости от среды развертывания сети могут применяться различные модели распространения. Обычно распространение радиоволн изучается либо на открытом воздухе, либо в помещениях. Каждая модель имеет свои преимущества и недостатки. Моделей распространение в помещениях несколько: Модель свободного пространство, Модель “One slope”, модель “Dual slope”, модель ITU-R 1238, модель Motley-Keenan, модель COST 231 Multiwall [3], методы трассировки лучей [4]. Методы трассировки лучей занимают много времени и в большинстве случаев требуют наличия 3D-моделей, что не всегда доступно. Модель свободного пространства неприменима, так как в реальном мире не соблюдаются необходимые идеальные условия. Согласно [3] при планировании локальной беспроводной сети в различных условиях лучшим выбором будет использование моделей ITU-R 1238 или Motley-Keenan. Для простоты и удобства используется модель Motley-Keenan:

$$l = l_0 + 10n\log(d) + \sum_{i=1}^{W} k_{w_i} l_{w_i} \quad (1)$$

где l_0– потерь сигнала на расстоянии 1 м.

k_{w_i} - количество пройденных стену типа i.

l_{w_i}- потеря мощности сигнала при прохождении через стену типа i.

Предлагаемый метод

Этапы решения можно разделить на этапы предварительной обработки и этапы оптимизации. Этапы предварительной обработки включают в себя:

Шаг 1 – расчет координат стен и потери сигнала при прохождении через стену из файла csv.

Шаг 2- определение минимальных и максимальных координат x_{min}, y_{min} , x_{max}, y_{max} .

Шаг 3- выбор подходящего шага дискретизации α.

Шаг 4- представление среды распространения матрицей $\mathcal{X} = \{x_{ij} \mid i \in \{1, \dots, U\}, j \in \{0,1, \dots, V\}\}$, чьи индексы и отображают координаты точек среды (x_i, y_i):

$$x_i = x_{min} + [i-1]\alpha \quad (2)$$

$$y_i = y_{min} + [i-1]\alpha \quad (3)$$

$$U = \left\lceil \frac{x_{max} - x_{min}}{\alpha} \right\rceil + 1 \quad (4)$$

$$V = \left\lceil \frac{y_{max} - y_{min}}{\alpha} \right\rceil + 1 \quad (5)$$

Шаг 5- применение алгоритма Bresenham для отображения координат стен в матрицу $\mathcal{X}$. Для каждой стены выбирается уникальный номер $w \in \{1, \dots, W\}$, которым она обозначается в матрице $\mathcal{X}$. Если $x_{ij} = w \in W$, то ячейка (i, j) представляет собой часть стены w а если $x_{ij} = 0$, это означает, что ячейка не является частью никакой стены. Информация о потерях сохраняется в отдельной матрице $L = \{l_{w_i} | i \in \{1, \dots, W\}\}$.

Шаг 6- отображение матрицы $\mathcal{X}$ в виде изображения и выделение области установки оборудования. Результатом является матрица или маска $Z = \{z_{ij}\}$, где $z_{ij} = 1$, если по этим координатам можно установить оборудование, и 0 в противном случае.

Этапы предварительной обработки включают в себя применение алгоритма оптимизации NSGA II. Пусть $A = \{a_1, \dots, a_\Lambda\}$ будет группой точек доступа или шлюзов, которые необходимо установить. Каждый шлюз a характеризуется передаваемой мощностью p^a. Цель состоит в том, чтобы определить оптимальное положение каждого $a \in A$, т.е. выбрать оптимальные i_a и j_a которые представляют переменные решения. Что касается ограничений, используем следующие:

$$i_a \in \{1, \dots, U\} \; \forall a \in A \quad (6)$$

$$j_a \in \{1, \dots, V\} \; \forall a \in A \quad (7)$$

$$z_{i_a j_a} > 0 \; \forall a \in A \tag{8}$$

Алгоритм применяется с двумя целевыми функциями:

1- максимизировать общую мощность сигнала:

$$\Gamma = \max \sum_{i=1}^{U} \sum_{j=1}^{V} p_{ij} \tag{9}$$

2- максимизировать расстояние между передатчиками:

$$\Psi = \max \sum_{a_1 \in A} \sum_{a_2 \in A} \left[\left(i_{a_1} - i_{a_2}\right)^2 + \left(j_{a_1} - j_{a_2}\right)^2 \right] \tag{10}$$

$P = \{p_{ij}\}$ можно рассчитать следующим образом:

Шаг 1- рассчитать расстояния от местоположения каждого передатчика до всех точек сетки:

$$D_{ij}^a = \left\{ d_{ij}^a = \alpha \sqrt{(i_a - i)^2 + (j_a - j)^2} \mid i \in \{1, \dots, U\}, j \in \{1, \dots, V\} \right\} \tag{11}$$

Шаг 2- найти стены между каждым узлом и местоположением каждого передатчика, нарисовав линию от каждого передатчика до точки назначения, используя алгоритм линии Bresenham и обнаружив в матрице I ячейки, которые соответствуют стенам. Общие потери l_{ij}^a при передаче сигнала представляют собой сумму потерь для различных обнаруженных стен.

Шаг 3- Рассчитать уровня сигнала каждого передатчика в каждом узле:

$$P_{ij}^a = \left\{ p_{ij}^a = p^a - l_0 - 10n \log d_{ij}^a - l_{ij}^a \mid i \in \{1, \dots, U\}, j \in \{1, \dots, V\} \right\} \tag{12}$$

В этом уравнении член L_{ij}^a эквивалентен члену $\sum_{i=1}^{N} k_{W_i} L_{W_i}$ в модели Motley-Keenan.

Шаг 4- Рассчитать максимальную мощность в каждой ячейке:

$$P = \left\{ p_{ij} = \max_{a \in A} p_{ij}^a \mid i \in \{1, \dots, U\}, j \in \{1, \dots, V\} \right\} \tag{13}$$

Результаты

Предлагаемый метод был использован для размещения двух точек доступа Wi-Fi (2,4 ГГц) внутри квартиры. Размеры квартиры представлены в виде файла csv. Стены сделаны из кирпича, и потери сигнала при прохождении через стену составляют 8 дБ. Результаты применения предложенного метода представлены на рис. 1 вместе с планировкой здания и расположением точек доступа.

Стоит отметить, что внутри квартиры проводились практические измерения мощности сигнала для определения коэффициентов модели Motley-Keenan. Этот шаг не влияет на оптимальное положение, обнаруженное алгоритмом. Однако это влияет на точность расчета мощности сигнала методом.

NSGA II может дать более одного решения на фронте Парето. В нашем случае выбирается решение, которое дает максимальное количество элементов в P, в котором уровень сигнала выше заданного порога.

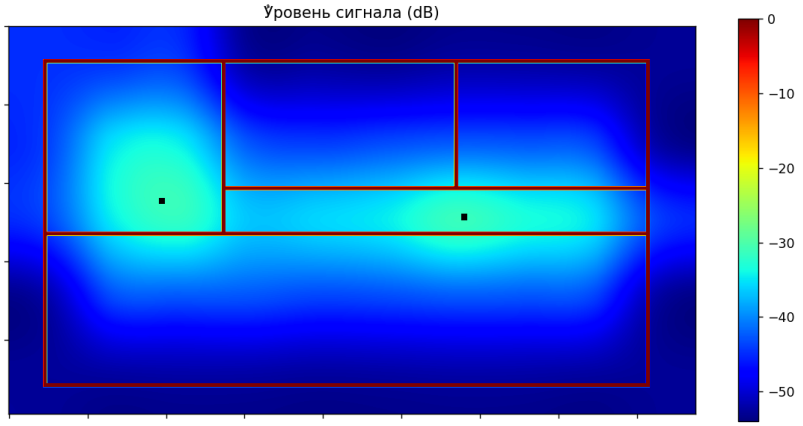


Рисунок 1 – Уровень сигнала и расположения точек доступа, полученных предлагаемым методом

Для сравнения использовался профессиональный инструмент Wi-Fi Planner Pro, предоставленный компанией D-Link, и были получены результаты, показанные на рис. 2.

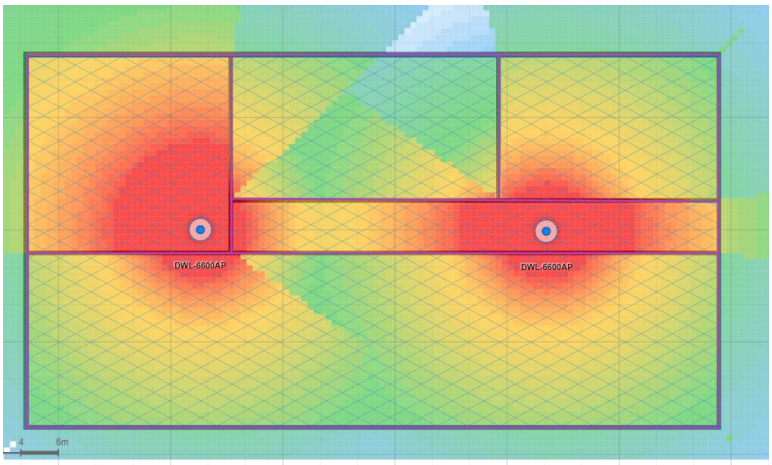


Рисунок 2 - Уровень сигнала и расположения точек доступа полученные WiFi planner Pro

Решение, полученное используемым WiFi planner Pro, близко к тому, что найдено предлагаемым методом. Работа метода еще с 9 помещений (без эмпирических измерений) была проверена и сравнена с Wifi Planner Pro с аналогичными результатами. Таким образом, можно сделать вывод предлагаемый метод работает корректно.

Заключение

В этой работе было предложен метод для оптимального распыления точек доступа или шлюзов внутри помещений. Сравнение полученных результатов с результатами, полученными профессиональным инструментом, показало схожие результаты. Эта работа является отправной точкой для разработки более универсального алгоритма, который может обрабатывать многоэтажные помещения.

Литература

1. Hosseinzadeh S., Larijani H., Curtis K., An enhanced modified multi wall propagation model // 2017 Global Internet of Things Summit (GIoTS). - 2017. - P. 1-4.
2. Deb K., Pratap A., Agarwal S., Meyarivan, T. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2002. V. 6. No. 2. P. 182-197. DOI: 10.1109/4235.996017
3. Баутин, И. А. Модели распространения радиосигнала Wi-Fi / И. А. Баутин, А. Г. Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2017. – № 2(21). – С. 107-112. – EDN ZATCQR.
4. Bhuvaneshwari A., Hemalatha R., Savithri T. Development of an Optimized Ray Tracing Path Loss Model in the Indoor Environment // Wireless Personal Communications. – 2017. DOI: 10.1007/s11277-017-4220-5.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СЕСТРОРЕЦКОГО ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАЗЕМНЫХ И БОРТОВЫХ ТРАКТОВ СВЧ

Боловин С.А.
Национальный исследовательский университет “Московский авиационный институт”
+7 (925)-022-98-44, bolovin5@gmail.com

Приводятся результаты проектирования на электродинамическом уровне методом топологического синтеза Сестрорецкого трактов для спутников КУПОН, ЯМАЛ и др.
Ключевые слова: топологический синтез Сестрорецкого, антенно-фидерные устройства, проектирование наземных и бортовых трактов СВЧ

The use of the Sestroretsky topological synthesis technique in the design of ground and onboard microwave paths. Bolovin S. A., Moscow Aviation Institute.
The results of designing at the electrodynamic level by the method of topological synthesis of the Sestroretsk tracts for satellites KUPON, YAMAL, etc. are presented.
Keywords: topological synthesis of Sestroretsky, antenna-feeder devices, design of terrestrial and onboard microwave paths

Введение

Использование методики топологического синтеза Сестрорецкого при проектировании наземных и бортовых трактов СВЧ, спутников связи показал свою эффективность на таких изделиях как: Купон (LMI, ЯМАЛ). Результаты приведём ниже.

Топологический синтез

При топологическом синтезе различных трактов Ku и C-диапазонов использовался общий подход, обеспечивающий выполнение требования максимальной простоты конструкции, при возможности изготовления всех узлов на станках-автоматах (фрезерование и электроискровое выжигание), а также отсутствие настроечных элементов. Доводка размеров, включая определение допусков, производится в процессе топологического синтеза. Для каждого тракта приводятся основные размеры, состав и конструкция основных элементов. Для важнейших устройств (фильтры, поляризаторы) получены инвариантные соотношения, позволяющие установить предельно достижимые значения параметров.

Тракты Ku-диапазона

Тракты КУПОН(П), КУПОН(Ц) ($\vec{V}, \overleftarrow{V}, \vec{H}, \overleftarrow{H}$).

Компоновка тракта КУПОН(П) показана на рис. 1, где Φ_1 - фильтр приёмника (приём частот f_r), Φ_2 - фильтр передатчика (передача частот f_t), Φ_3 - диплексер (разделяющий частоты f_r и f_t).

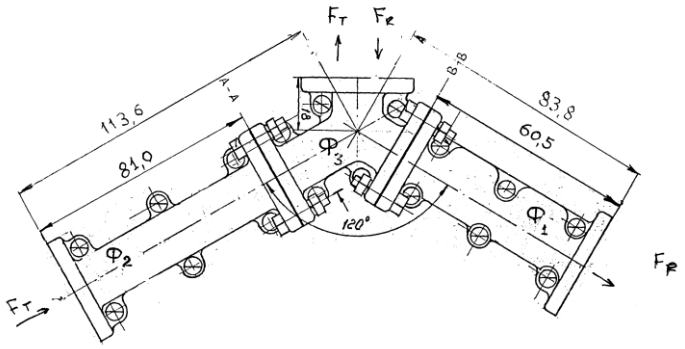


Рисунок 1 – Компоновка тракта КУПОН(П)

КУПОН(Ц) компонуется на основе поляризационного тройника, к выходам которого подключаются 2 сборки (рис. 1).

Тракт LMI($\vec{V}, \overleftarrow{V}$).

Если предусматривается работа тракта с круговыми поляризациями сигналов, то между излучателем и тройником включается поляризатор.

Компоновка элементов 2-хпортового $\vec{V}, \overleftarrow{V}$ тракта показана на рис.2, где Φ_1 - фильтр приёмника, Φ_2 - фильтр передатчика, Φ_3 - диплексер, 1 – устройство ориентации вектора вертикальной поляризации, 2 – переходник с прямоугольного волновода на круглый, 3 – облучатель антенны.

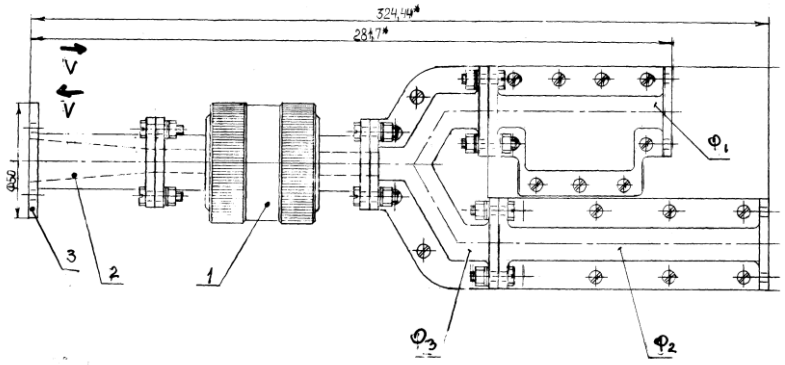


Рисунок 2 – Компоновка элементов 2-хпортового $\vec{V}, \overleftarrow{V}$ тракта

Тракты C-диапазона

Тракт ЯМАЛ(TV)($\vec{L}, \vec{R}$).

Для уменьшения длины переходов используются согласующие элемент, названные концентраторами, представляющие из себя короткие (<30mm) ступенчатые пластинки, по 4 на каждый переход. Тракт изображён на рис. 4.

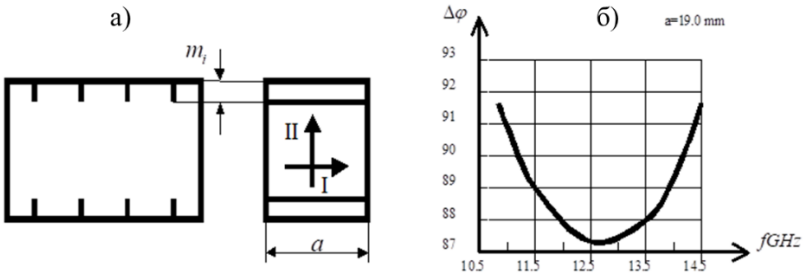


Рисунок 3 – Поляризатор на основе тонких диафрагм

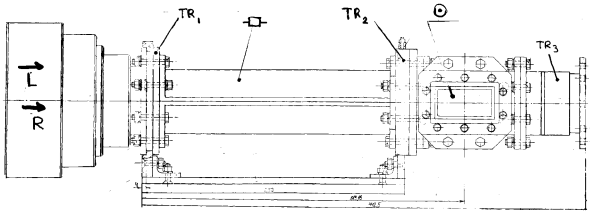


Рисунок 4 – Тракт ЯМАЛ(TV)($\vec{L},\vec{R}$)

Для поляризатора на основе квадратного $a \times a$ волновода и тонких диафрагм $a \times m$ фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ и максимальная широкополосность при работе только в полосе приёма определяются из инвариантных соотношений [1-5]:

$$\Delta\varphi = \left(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{2m}{a}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Lambda}{a}\cdot\frac{2a}{\Lambda}\right)\cdot n;\ \Lambda_{min} = \Lambda_0\cdot\xi;\ \Lambda_{max} = \Lambda_0\cdot\xi^{-1};\ \Lambda_0 = a\cdot\sqrt{2};\frac{\Delta\varphi_{min,max}}{\Delta\varphi_0} \quad (1)$$
$$= 1 + 2\cdot\Delta;\frac{1}{2}\cdot\left(\xi+\frac{1}{\xi}\right) = 1 + 2\cdot\Delta$$

где $\Delta\varphi_{0,min,max}$ - длины волн в волноводе, индекс 0 соответствует минимуму на кривой рис. 3 (б), min и max – значениям минимальной и максимальной частот f_{min} и f_{max}, для которых $\Delta\varphi_{min,max}$ увеличивается в $1 + 2\cdot\Delta$ раз по сравнению с $\Delta\varphi_0$, m - ширина диафрагм, n - число диафрагм, $\Lambda^{-2} = \lambda^{-2} - (2\cdot a)^{-2}$, $m << a$. Для $\Delta << 1$ из (1) определим $\xi \approx 1 + 2\sqrt{\Delta}$. Полагая $\Delta = 0.02$ ($\Delta\varphi = 90° \pm 2°$) получим $\xi \approx 1.28$ и $\frac{\lambda_{min}-\lambda_{max}}{\lambda_0} = \frac{\xi-\frac{1}{\xi}}{3} \approx 0.67$, т.е. предельная широкополосность поляризатора составляет около 30%. Ограничение рабочей полосы частот поляризатора вида рис. 3 (а) является принципиальным, т.к. из (1) следует, что ширина квадратного волновода определяется из условия $a = \frac{\Lambda_0}{\sqrt{2}}$. Для рассматриваемого тракта $f_r = 3.45 \div 4.15GHz$ $f_0 = 3.8GHz$ ($\lambda_0 = 79mm$, $\Lambda_0 = 136mm$) из (1) определяем $a = 63.5mm$ и отклонение $\Delta\varphi$ от 90° в пределах рабочей полосы частот $\pm 2°$. Для опытных образцов тракта рис. 4 реализованы параметры: коэффициент эллиптичности $K_э = 0.90 \div 0.93$ для углов диаграммы направленности отличающихся от нормали на $\pm 10°$, КСВ ≤ 1.3.

КСВ облучателя вместе с трансформатором *TR* менее 1.2, что определяет развязку между входами $\vec{L},\vec{R}$ на уровне $20 \div 30dB$. Ширина диаграммы направленности по уровню $10dB$ составляет $\pm(50 + 55°)$, уровень боковых лепестков < $30dB$. Комплексные исследования параметров тракта проводились на автоматизированных стендах. Тракт ЯМАЛ(TV) производит приём сигналов только одной поляризации ($\vec{L}$ или $\vec{R}$). Второй согласованный выход тройника позволяет устранить влияние сигналов второй поляризации на работающий канал с развязкой более $30dB$. Изменение направления рабочей поляризации производится механическим поворотом узлов на 90° или подключением приёмника к второму выходу тройника. После проектирования и изготовления партии трактов их настройка и доработка не производилась [6-10].

Тракт ЯМАЛ(П) ($\vec{L},\vec{R}$).

Тракт является двух портовым с перекрытием рабочих частот $\frac{f_{tmax}}{f_{rmin}} = 1.78$. Основные параметры тракта (литеры А): коэффициент эллиптичности $K_э \geq 0.92$ в секторе диаграммы направленности $1dB$.

Изменение направления круговой поляризации выполняется вручную в полевых условиях путём поворота на 90° излучателя и поляризатора тракта. Конструкция тракта изображена на рис. 5, где использованы: излучатель, TR_1 – переход с круглого на квадратный волновод, TR_2 – элемент для согласования стыка двух квадратных волноводов, повёрнутых на 45°, Q – турникет, W_1 - отрезок волоновода, содержащего индуктивные диафрагмы m_L, W_2 - отрезок волоновода, содержащего ёмкостные диафрагмы m_c, поляризационный тройник, TR_3 – переходник от квадратного к прямоугольному волноводу.

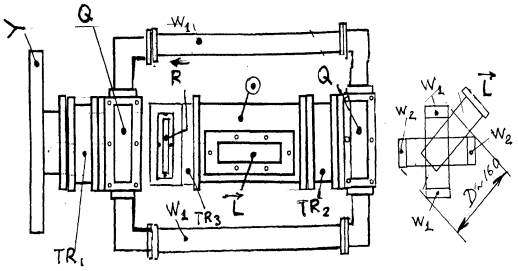


Рисунок 5 – Конструкция тракта

При выборе типа поляризатора рассматривались три типа схем : 1) с использованием поляризатора на основе квадратного волновода по типу поляризатора тракта ЯМАЛ(TV), 2) с использованием двух турникетов и двух пар волноводов W_1 и W_2 с различной длиной и цепью резонаторов в волноводах W_1 и 3) на основе конструкций (рис. 5) с волноводами W_1 и W_2 с индуктивными и ёмкостными диафрагмами. Для поляризатора типа 1 величина ширины квадратного волновода a однозначно определяется величинами f_{min}и f_{max}, что определяет существенное снижение значения $\Delta\varphi$ до 84° в области минимума кривой 1 на рис. 6.

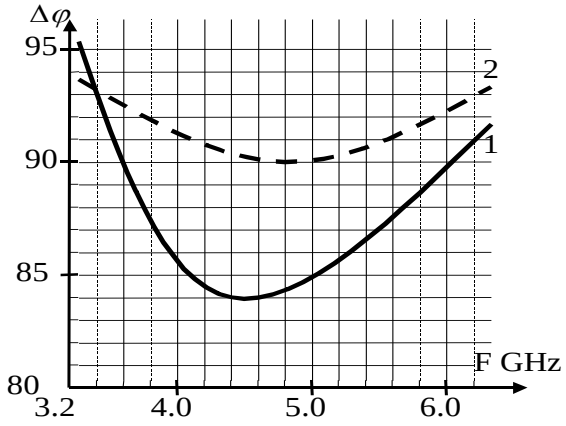


Рисунок 6 – Снижение значения $\Delta\varphi$

Существенно меньшее и одинаковое значение $\Delta\varphi = 89.4°$ (кривая 2 на рис.18) имеют поляризаторы типа 2 и 3 с двумя парами волноводов W_1 и W_2. Поляризатор второго типа был детально исследован на электродинамическом уровне. Подтверждена реализация $\Delta\varphi = 90° \pm 2°$ в полосах приёма $3.45 \div 3.90GHz$ и передачи $5.725 \div 6.475GHz$. На частотах $3.90 \div 4.175GHz$ $\Delta\varphi = 90° \pm 3°$. Существенным недостатком поляризатора типа 2 является конструктивная сложность и различие длин волноводов W_1 и W_2. Поляризатор третьего типа по электрическим параметрам эквивалентен второму и значительно проще по конструкции. Поляризатор первого типа имеет самую простую конструкцию и именно он будет использован в первых комплектах тракта ЯМАЛ(П). Проводился также топологический синтез поляризатора третьего типа, компонуемого на основе квадратного волновода. В такой конструкции использовались независимые невзаимодействующие индуктивные и ёмкостные диафрагмы.

Заключение

Методика топологического синтеза Сестрорецкого с применением универсальных электродинамических программ на основе метода потоковых сеток позволяет проектировать весь необходимый набор волноводных элементов, входящих в состав широкополосных двух и четырёх портовых поляризационных трактов наземных антенн для перспективных систем спутниковой связи. Проектирование проводится без макетирования. Все устройства изготавливаются на станках с программным управлением и не требуют регулировочных операций. Эвристические процедуры и аппарат топологических инвариантов Сестрорецкого, используемый при проектировании устройств с

поляризационной и частотной селекциями, позволяет реализовать для выбранных схемных решений значения параметров, обеспечивающих эффективную работу спроектированных устройств.

Литература

1. B.V. Sestroretzkiy, A.G. Nazarov, K.N. Klimov, Elec-trodinamical analysis and topological optimization of broad band polarized devices. Publication see [5], pp 711-713.
2. C. Zuffada, T. Cwik, G. Ditchman. Synthesis of Novel All-Dielectric Grating Filters Using Genetic Al-gorithms. IEEE Transactions, vol.AP-46, may 1998, N5, pp657-663.
3. E. Lier, T. Schaung-Petersen. An extremely broad-band waveguide polarizer, AP-S Jnst. Symp., Syra-cuse, June, 6-10, 1988, vol. 3, N8,1988.
4. D.V. Vasiliev. Research and designing of broadband polarizing devices. The dissertation on competition of a scientific degree of Ph.D. Mosc. Tech. Uni. of Communication and Information. Moscow, 1994.
5. B.V. Sestroretzkiy, A.G. Nazarov, K.N. Klimov, Topological optimization of wideband polarized waveguide Tee. Publication see [5], pp 472-474.
6. Климов К.Н., Перфильев В.В., Годин А.С., Электродинамический анализ неоднородных сред во временной области // Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 148 с.
7. Климов К.Н., Годин А.С., Перфильев В.В., Схемы элементарного объема пространства в подмагниченной плазме // Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 93 с.
8. Климов К.Н., Гежа Д.С., Фирсов-Шибаев Д.О., Практическое применение электродинамического моделирования // Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 216 с.
9. Климов К.Н., Фирсов-Шибаев Д.О., Гежа Д.С., Метод импедансного аналога электромагнитного пространства // Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 124 с.
10. Климов К.Н., Конов К.И., Мацаян М.С., Моделирование ДОС наземного радиозапросчика // Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 53 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТОКОВОГО КУБА СЕСТРОРЕЦКОГО ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО 3D ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Климов К.Н.
Национальный исследовательский университет “Московский авиационный институт”
+7 (926)-529-33-70, const0@mail.ru

Представлены 12 и 6 параметрические алгоритмы анализа во временной области основанные на возбуждении дискретными импульсами, моделирующими гармоническое колебание. Представлена оценка точности при использовании куба Сестрорецкого.

Ключевые слова: потоковый куб Сестрорецкого, роторный куб Сестрорецкого, электродинамический анализ.

Using the Sestroretsky flow cube for efficient 3d electrodynamic analysis. Klimov K.N., Moscow Aviation Institute.

12-parametric and 6-parametric time domain analysis algorithms are presented based on excitation by discrete pulses simulating a harmonic oscillation. An estimate of the accuracy when using the Sestroretsky cube is presented.

Keywords: Sestroretsky flow cube, Sestroretsky rotary cube, electrodynamic analysis.

Введение

Рассмотрим метод основанный на численном решении уравнений Максвелла при дискретизации как пространства, так и времени при жёсткой связи между собой, пространственного и временного дискрета, который был предложен Б.В. Сестрорецким [1-4].

Основная часть

Дескрипторы с 12 и 6 входами были предложены Б.В. Сестрорецким для дискретного анализа электромагнитных процессов в 1977 и 1983 годах соответственно. Данные дескрипторы показаны на рисунке 1 [5, 6].

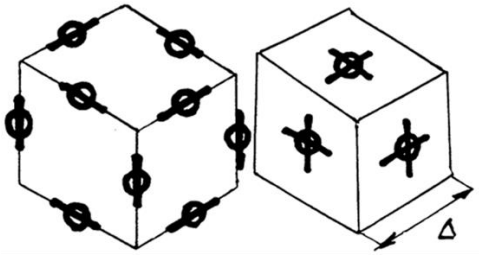


Рисунок 1 – 12-ти и 6-ти входовые дескрипторы, предложенные Б.В. Сестрорецким

Для 12-входового дескриптора входы располагаются на ребрах (см. рис. 1), а для 6-входового дескриптора входы размещаются на гранях куба.

Эквивалентные RLC-схемы для двух вариантов дескрипторов показаны на рисунке 2, где конденсаторы обозначены незачерненными кружками, а индуктивности ($C = \varepsilon_0 \Delta, L = \mu_0 \Delta$, , где ε_0, μ_0 – постоянные вакуума) – зачерненными [3, 4].

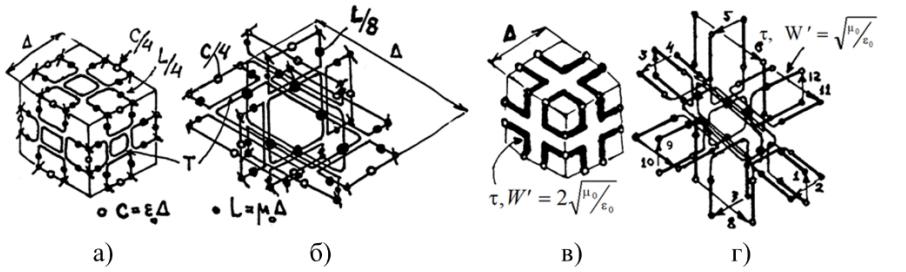


Рисунок 2 – RLC и Rτ схемы для 12-входового и 6-входового дескриптора

Обе схемы эквивалентны роторным уравнениям Максвелла, а соответствующие им уравнения Кирхгофа совпадают с уравнениями Максвелла, записанными в конечно-разностной форме. Потоковые схемы (рис. 1 (б)) эквивалентны другой дискретной проекции уравнений Максвелла. Потоковую схему можно пояснить, подключая к дескриптору Δ^3 шесть виртуальных Т-волноводов сечения $\Delta x \Delta$, обозначенных на рисунке 3 (а), соответствующих пар клемм на рисунке 3 (б).

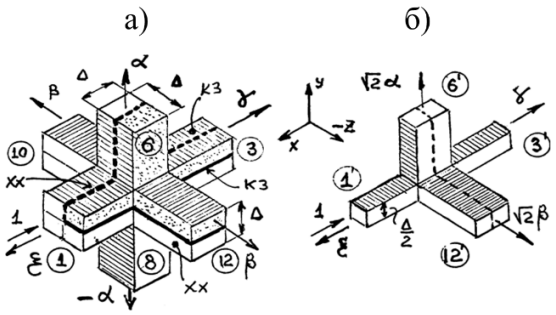


Рисунок 3 – Т-волноводы сечения $\Delta x \Delta$

Каждый виртуальный волновод имеет две металлические стенки КЗ (заштрихованы на рис. 3 (а)) и две магнитные стенки XX (без штриховки). Устройство (рис. 3 (а)) является 12-полюсником, коэффициенты матрицы рассеяния [S] которого равны $S_{1,1} = \xi,\ S_{1,3} = \gamma,\ S_{1,12} = S_{1,10} = \beta, S_{1,6} = -S_{1,8} = \alpha$. Выделяя из 12-полюсника (рис. 3 (а)) плоскостями КЗ и XX одну четвертую часть, изображенную на рис. 3б и производя анализ свойств 8-полюсника (рис. 3 (б)), строго доказывается [7], что

$$\xi = 0, \gamma = 0, \beta = \frac{1}{2}\exp\left(-jk_0\Delta/2\right) \quad (1)$$

Полученные для куба Сестрорецкого (рис. 3 (а)) коэффициенты матрицы рассеяния внесены в первую строчку полной матрицы рассеяния (рис. 4) дескриптора (рис. 1 (б)). Остальные строки матрицы (рис. 4) получены путем проведения операции поворота 12-полюсника (рис. 3 (а)) относительно осей X, Y, Z.

$$S = \beta \times \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 4 – Полная матрица рассеяния потокового куба Сестрорецкого

На базе матрицы (рис. 4) проводится электродинамический анализ в частотной области [8]. Алгоритм вычислительного процесса во временной области непосредственно следует из схемы (рис. 3 (б)). Предполагается, что любой электромагнитный процесс можно представить суммой видеоимпульсов длительностью $\tau = \frac{\Delta}{2}\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$. За это время импульс, входящий в одну грань куба (например, вход 1), выходит через четыре примыкающие грани куба (выходы 6, 8, 10, 12). Амплитуда выходных импульсов уменьшается в два раза. Аналогично распределяются в соответствии с матрицей (рис. 4) импульсы, входящие во все 12 входов схемы (рис. 3 (б)). Входящие импульсы являются причинами, выходящие – следствиями. В момент времени t записываются импульсы-причины для всех n объемов Δ^3 исследуемой сетки кубиков ($12n$ чисел). После операции деления на 2 записываются новые $12n$ чисел-следствий. В следующий момент времени $t + \tau$ импульсы-следствия становятся импульсами-причинами, множество $12n$ предыдущих чисел стирается и операции повторяются по всему множеству n объемов. Подобный алгоритм назван 12-параметрическим [7].

Дисперсионная погрешность для роторной схемы примерно вдвое хуже потоковой [9]. В результате на каждый узел сетки, учитывая все узлы, запоминаются 6 чисел, а для вычисления новых 6 чисел требуется выполнить 18 операций за время 4τ, т.е. за время пробега импульсов по 4 отрезкам линий между затемнёнными узлами. Для сравнения – в роторном 6 параметрическом алгоритме, на каждый элементарный объём требуется выполнить 46 операций за период 2τ, т.о. выигрыш потоковой сетки составляет 2,5 раза.

Программа, разработанная на основе 6-параметрического алгоритма позволяет анализировать электродинамический объем с общим числом кубов до $N \approx 4 \cdot 10^9$. При расчетах величина Δ берется равной от $\frac{1}{10}\lambda$. При $N = 4 \cdot 10^9$ исследуемый объем V может достигать $4 \cdot 10^9\lambda^3$. Интегрирование в дальней зоне тангенциальных составляющих одновременно электрического и магнитного полей для некоторого сечения над поверхностью антенны позволяет вычислять диаграмму направленности антенны для любых углов азимута и места.

Основная методическая погрешность потокового метода обусловлена пространственной дисперсией плоских волн (подробнее в [7]).

Рассмотрим топологию отрезка волновода сечения $19 \div 9.5$ мм^2 с подключенным в Н-плоскости короткозамкнутым шлейфом (см. рис. 5).

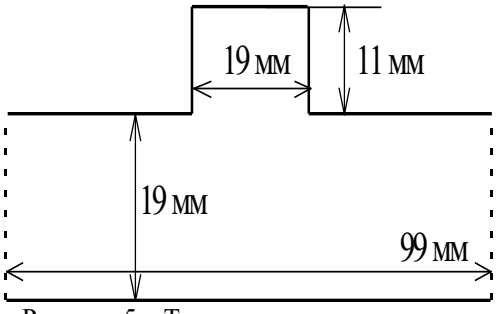


Рисунок 5 – Топология отрезка сечения

Длина шлейфа (11 мм) была выбрана таким образом, чтобы пик резонансного затухания размещался на частоте ~12 *ГГц*. При исследовании использовалась программа, реализующая метод потоковых сеток [10]. Для сравнения по точности была использована также применяемая в инженерной практике программа TAMIC-H. Программа позволяла исследовать размещение на шкале частот узкого резонансного пика (ширина 1 МГц на уровне затухания ~60 *дБ*). В предыдущих версиях Rτ-программ [8] с 32 битовой целочисленной дискретизацией уровня полей и 6-параметрическим роторным алгоритмом не

удавалось реализовать стационарный электродинамический процесс вблизи максимума затухания, т.к. постепенное накопление вычислительных ошибок в компьютере приводило к росту шума. В другой версии на основе аппарата потоковых сеток Сестрорецкого зашумление отсутствует, т.к. используются вычисления с плавающей запятой. В указанной версии программы частота колебаний выбирается произвольно, не связанной с квантом времени τ (в целочисленной программе период колебаний был кратен τ). Вычисления производились с размерами элементарных объемов Rτ-сетки Δ=1, 0.5, 0.25 мм. При Rτ-анализе с использованием потокового куба Сестрорецкого резонансные кривые исследовались в диапазоне 11.89÷11.94 ГГц на 51 фиксированной частоте.

Резонансная кривая, полученная на программе TAMIC-H, смещена относительно кривой при Δ=0.25 мм для потокового куба Сестрорецкого примерно на 9 МГц (отличие 0.1% по частоте). Подобный сдвиг соизмерим с ошибкой, обусловленной большей дисперсионной погрешностью H-сеток по сравнению с Rτ-потоковой сеткой. Для потоковой Rτ-сетки погрешность определения резонансной частоты шлейфа может быть оценена величиной $\frac{2}{5}(\Delta/\lambda)^2$, что составляет для значений Δ=0.25 мм, λ=25 мм величину 0.004%. Для H-сетки погрешность составит при Δ=1 мм примерно 0.1%. Исходя из вышеизложенного следует также, что на основе метода с использованием потокового куба Сестрорецкого могут исследоваться фильтры и другие устройства с уровнем вносимого затухания 80 дБ.

Заключение

В данной работе представлена теория и алгоритмы электродинамического анализа во временной области на основе аппарата потоковых Rτ сеток Сестрорецкого. Сравнительный анализ с алгоритмами для роторных Rτ сеток Сестрорецкого показал, что использование данной методики позволяет сократить число операций в 2.5 раза и уменьшить дисперсионную погрешность в 2 раза. Исследование устройства с узкой кривой режекции показало высокую точность (~0.01%) определения резонансных частот и возможность исследования СВЧ-устройств в стационарном режиме с высокими показателями затухания (до 80 дБ) при возбуждении произвольно устанавливаемой частотой. Это подтверждает эффективность использования методики 3D э/д анализа на основе потокового куба Сестрорецкого.

Литература

1. Сестрорецкий Б.В. // Вопр. радиоэлектроники. Сер. Общие вопросы радиоэлектроники. 1976. Вып. 2. С. 113.

2. Середов В.М. // Вопр. радиоэлектроники. Сер. Общие вопросы радиоэлектроники. 1983. Вып. 5. С. 34.

3. Климов К.Н., Сестрелецкий Б.В., Вершков В.А., и др. Электродинамический анализ двумерных неоднородных сред и плазмы: монография / - [Б.м.]: ООО МАКС Пресс. 2005.

4. Климов К.Н., Гежа Д.С., Фирсов-Шибаев Д.О., Практическое применение электродинамического моделирования // Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 216 с.

5. Б.В. Сестрорецкий. RLC и Rτ аналоги электромагнитного пространства. Межвузовский сб. научных трудов “Машинное проектирование устройств и систем СВЧ”, МИРЭА, 1977, стр. 127-158.

6. Б.В. Сестрорецкий. Балансные RLC и Rτ схемы элементарного объема пространства. Вопросы радио-электроники, сер. “Общие вопросы радиолектроники”, 1983, вып. 5, стр. 56-85.

7. Иванов, С. А. Метод импедансного аналога электромагнитного пространства для решения трехмерных векторных задач электродинамики / С. А. Иванов, Б. В. Сестрорецкий, А. Н. Боголюбов // Журнал радиоэлектроники. – 2008. – № 5. – С. 4. – EDN KUICJP.

8. Family of 12-, 6- and 3-parametrical algorithms for electrodynamic analysis of 3D stream Rτ-net / B. V. Sestroretsky, S. A. Ivanov, V. M. Seredov, K. N. Klimov // 2000 International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory, Kharkov, 12–15 сентября 2000 года. – Kharkov, 2000. – P. 153-157. – DOI 10.1109/MMET.2000.888533. – EDN WOPAVR.

9. Б.В. Сестрорецкий, В.М. Середов, Б.А. Пригода, С.А. Иванов, Н.А. Садовников. Варианты построения и электродинамическое исследование плоских антенных решеток систем космической связи и телевидения. ICARSM’97, Voroneg, May 97, VGU, vol. 2, pp 89-115.

10. Б.В. Сестрорецкий, В.А. Тищенко. Применение Rτ -метода для моделирования объемных электродинамических процессов. Вопросы радиоэлектроники, сер. “Общие вопросы радиоэлектроники”, 1987, вып. 11, стр. 29-40.

ИСПРАВЛЕНИЕ НАРУШЕНИЙ АНТЕННЫХ ПРАВИЛ В РАМКАХ ОТКРЫТОГО МАРШРУТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ OPENLANE

Булах Д.А.[1], Коршунов А.В. [1], Волобуев П.С. [1,2]
НИУ МИЭТ, НПК «Технологический центр»
+7 (916) 911-48-45, dima@pkims.ru

Использование открытого маршрута проектирования интегральных микросхем OpenLane сопряжено с рядом трудностей, одной из которых является неполнота состава используемого в маршруте программного обеспечения. В качестве примера в данной работе приводится модуль проверки нарушений антенных правил, который может диагностировать наличие нарушений правил, но не имеет в себе средств для исправления таких нарушений. В статье рассматриваются разработанные авторами алгоритм и построенное на его основе программное обеспечение, способное встраиваться в открытый маршрут OpenLane и исправлять значительную часть нарушений антенных правил, повышая тем самым процент выхода годных.

Ключевые слова: интегральная схема, маршрут проектирования, открытая САПР, выход годных, технология производства ИС, антенный эффект.

Correction of antenna rules violations within opensource IC design flow OpenLane. Bulakh D.A., Korshunov A.V., Volobuev P.S. NRU MIET, Scientific-Manufacturing Complex «Technological Centre»

The use of an opensource design flow OpenLane used for integrated circuits design and manufacturing has a number of difficulties, one of them is the incompleteness of the software used in this flow. As an example, this paper provides an antenna rule violation checking module (ARC), which is able to detect but not to fix antenna rules violations. In this article we present the algorithm and the software built on it that can be easily integrated into the OpenLane design flow and fix a significant part of antenna violations, and this leads to an increase of yield.

Keywords: integrated circuit, design flow, opensource CAD, yield, IC manufacturing, antenna effect.

Введение

Появление ряда ограничений в использовании зарубежных САПР при проектировании и производстве интегральных микросхем поставило вопрос о возможности использования других программ в качестве инструментальных средств и/или других маршрутов проектирования.

В настоящее время существует ряд альтернативных коммерческим, открытых маршрутов проектирования [1]. В работе будет рассмотрен один из таких маршрутов - открытый маршрут OpenLane, который, в свою очередь, базируется на маршруте OpenROAD [2-4]. Он состоит из ряда программ с открытым исходным кодом, которые разрабатываются различными группами энтузиастов, в том числе академическими, и которые, будучи выполнены в определённой последовательности, позволяют довести цифровой дизайн от высокоуровневого описания на языке Verilog до реализации в виде топологических данных в формате GDSII, являющимся технологическим стандартом представления топологии интегральных схем на производстве.

Несмотря на возможность довести дизайн до представления в формате GDSII, в маршруте отсутствует ряд возможностей, предоставляемых коммерческими пакетами САПР, направленных на повышение процента выхода годных. И речь не о программах для таких достаточно сложных операций, как, например, коррекция оптической близости (OPC) и применение технологии двойного шаблона (DPT) [5,6], выполнение которых не поддерживаются маршрутом в принципе. Зачастую даже выполняемые в ходе маршрута виды анализа, выявляющие наличие недостатков в дизайне, не имеют своего логического продолжения – средств для исправления обнаруженных недостатков. В данной работе рассматривается один из таких видов анализа – анализ на нарушение антенных правил: в составе маршрута OpenLane есть возможность обнаружить нарушения, но нет возможности следом за обнаружением внести исправления в уже готовый дизайн для их исправления.

Антенный эффект

В процессе физического изготовления интегральных схем выполняется ряд технологических операций, одной из которых является травление. Травление бывает нескольких типов:

- жидкостное, с использованием химически активных растворов;
- электрохимическое, основанное на принципах гальваники;
- сухое, с использованием высокоэнергетической плазмы.

Последний тип (сухое травление плазмой) применяется при формировании металлизированных межсоединений. Плазма, которая используется при травлении, содержит высокоэнергетические ионы, которые при формировании межсоежинений могут в большом количестве накапливаться формируемыми

участками металлизации. Общее количество накопленных ионов зависит от площади поверхности металла и в случае большого числа обеспечивают накопление значительного потенциала. Если в результате текущей технологической операции формируется участок металла, подводимый к затвору транзистора, накопленный потенциал может повредить устройство. Это происходит, поскольку наличие существенной разницы потенциалов между затвором и подложкой может привести к пробою полупроводникового элемента, а модель получаемой физической структуры можно сравнить с моделью плоского конденсатора с очень большой разностью потенциалов на обкладках. При этом условно металл, накапливающий потенциал и подключённый к затвору транзистора, называется «антенной». Описываемая ситуация показана на рис. 1.

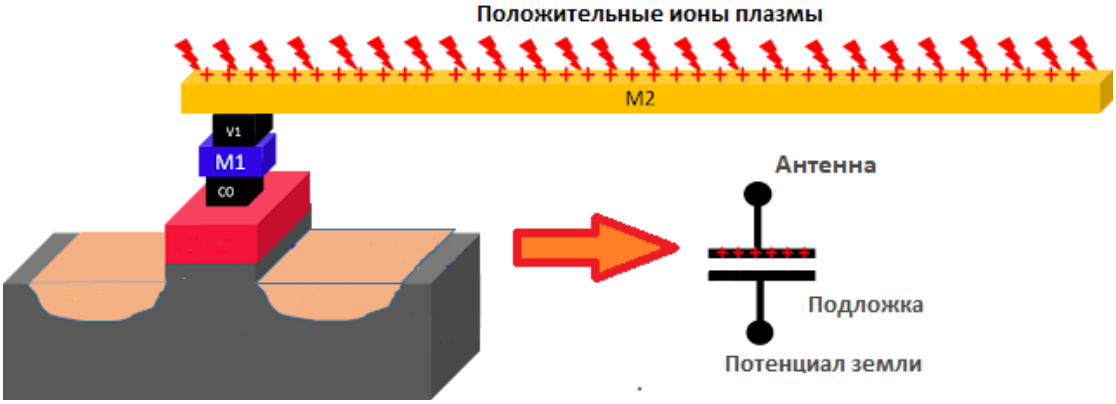


Рисунок 1 – Процесс появления антенного эффекта

Программы, стоящие в составе коммерческих САПР (таких, как САПР компаний Synopsys, Cadence, Siemens) проводят анализ нарушений антенных правил и автоматически исправляют топологию схемы, если обнаруживается нарушение антенных правил. Каждое правило представляют из себя ограничение численного значения допустимой величины соотношения площадей металла и затвора и определяется формулой (1):

$$AntennaRatio = \frac{S_{Me}}{S_{Gate}} = \frac{Width_{Metal} \cdot Length_{Metal}}{Width_{Gate} \cdot Length_{Gate}} \quad (1)$$

Пример расчёта антенных отношений показан на рис. 2.

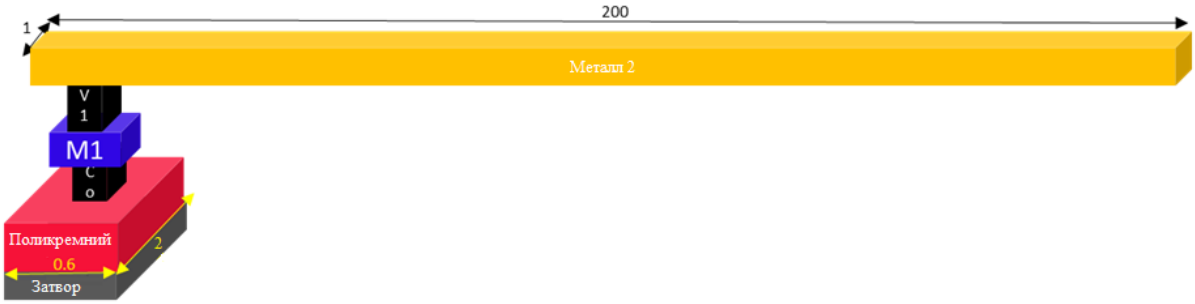


Рисунок 2 – Расчёт антенных отношений

Проведение расчётов по формуле (1) даст соотношение (2):

$$AntennaRatio = \frac{S_{Me}}{S_{Gate}} = \frac{200 \cdot 1}{0.6 \cdot 2} = 166{,}7 \quad (2)$$

Выражение (1) используется при вычислении ограничений, называемых PAR и CAR.

PAR – Partial Antenna Ratio, частичное отношение, предполагает анализ нарушений антенных правил исключительно в одном слое металла. CAR – Cumulative Antenna Ratio, кумулятивное отношение, предполагает, что если несколько затворов соединяются более чем одним слоем металла, то учитываются они все.

Сами по себе антенные правила задаются для каждой ячейки PDK в виде значения поля ANTENNAGATEAREA. Пример описания ячейки с таким полем показан на рис. 3 (на примере ячейки .из открытой библиотеки Google SkyWater PDK 130nm).

```
MACRO sky130_fd_sc_ms__a211o_1
```

```
CLASS CORE ;
ORIGIN  0.000000  0.000000 ;
SIZE  4.320000 BY  3.330000 ;
SYMMETRY X Y ;
SITE unit ;
PIN A1
  ANTENNAGATEAREA  0.246000 ;
  DIRECTION INPUT ;
  USE SIGNAL ;
  PORT
    LAYER li1 ;
      RECT 0.125000 0.440000 0.840000 0.670000 ;
      RECT 0.510000 0.255000 0.840000 0.440000 ;
  END
END A1
PIN A2
  ANTENNAGATEAREA  0.246000 ;
  DIRECTION INPUT ;
  USE SIGNAL ;
  PORT
    LAYER li1 ;
      RECT 1.050000 1.500000 2.275000 1.800000 ;
  END
END A2
...
```

Рисунок 3 – Часть кода LEF файла ячейки a2111o

В маршруте OpenLane антенную проверку выполняет программа ARC (Antenna Rule Checker), пример лога программы с обнаруженной ошибкой показан на рис. 4.

```
...
Net net5
  _102_/B_N (sky130_fd_sc_hd__or2b_1)
    met2
    PAR:    8.64  Ratio:    0.00 (Area)
    PAR:   43.93  Ratio: 2778.20 (S.Area)
    CAR:  173.36  Ratio:    0.00 (C.Area)
    CAR:  870.17  Ratio:    0.00 (C.S.Area)

    met1
    PAR:  164.60  Ratio:    0.00 (Area)
    PAR:  826.11* Ratio:  400.00 (S.Area)
    CAR:  164.71  Ratio:    0.00 (C.Area)
    CAR:  826.25  Ratio:    0.00 (C.S.Area)

    met3
    PAR:    1.24  Ratio:    0.00 (Area)
    PAR:    6.90  Ratio: 2778.20 (S.Area)
    CAR:  174.60  Ratio:    0.00 (C.Area)
    CAR:  877.07  Ratio:    0.00 (C.S.Area)
    ...
```

Рисунок 4 – Иллюстрация обнаружения нарушения антенного правила.

Из лога видно, что нарушение произошло в цепи с именем net5, которая подходит к пину B_N экземпляра _102_ячейки sky130_fd_sc_hd__or2b_1 в первом металле.

Методы исправления нарушений антенных правил

Существует два основных подхода для исправления нарушений антенных правил: вставка антенных диодов и вставка межслойных переходов.

При вставке антенных диодов предполагается, что полупроводниковая структура диода перехватит на себя формируемый потенциал и затвор транзистора останется неповреждённым. Структура с антенным диодом показана на рис. 5.

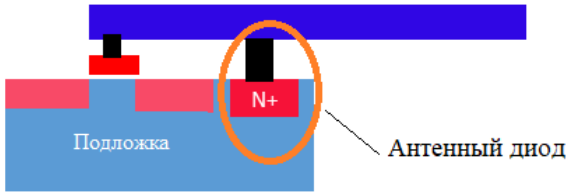


Рисунок 5 – Иллюстрация вставки антенного диода

Недостаток использования этого подхода состоит в том, что в топологии заранее необходимо предусматривать место, в которое может встать антенный диод, что приводит к увеличению занимаемой площади.

Второй подход, с использованием межслойных переходов, работает принципиально иначе. При нём не тратится площадь кристалла, поскольку нет необходимости резервировать место для диодов. Вместо этого выполняется разрыв длинного металла, из-за которого возникает нарушение антенного правила. Пример показан на рис. 6.

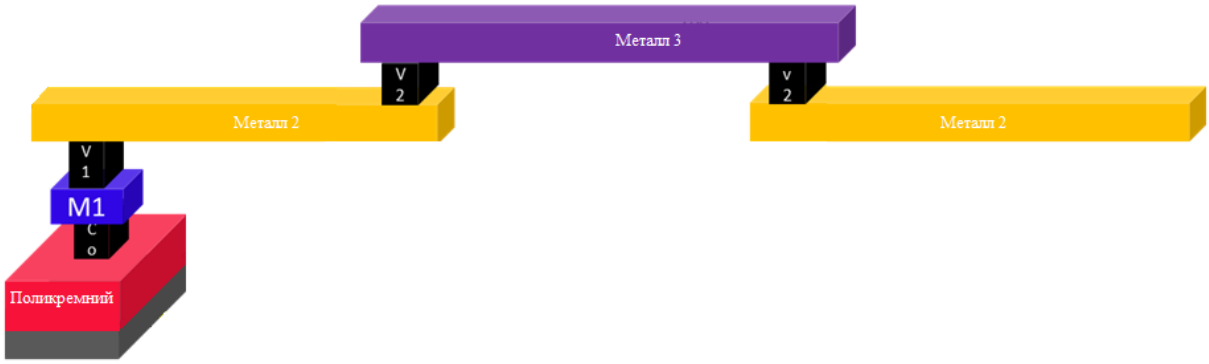


Рисунок 6 – Иллюстрация вставки межслойного перехода

Именно такой подход и был принят в качестве основы для разработки алгоритма исправления нарушений антенных эффектов.

Алгоритм вставки межслойных переходов

Алгоритм работы программы в виде блок-схемы показан на рис.7.

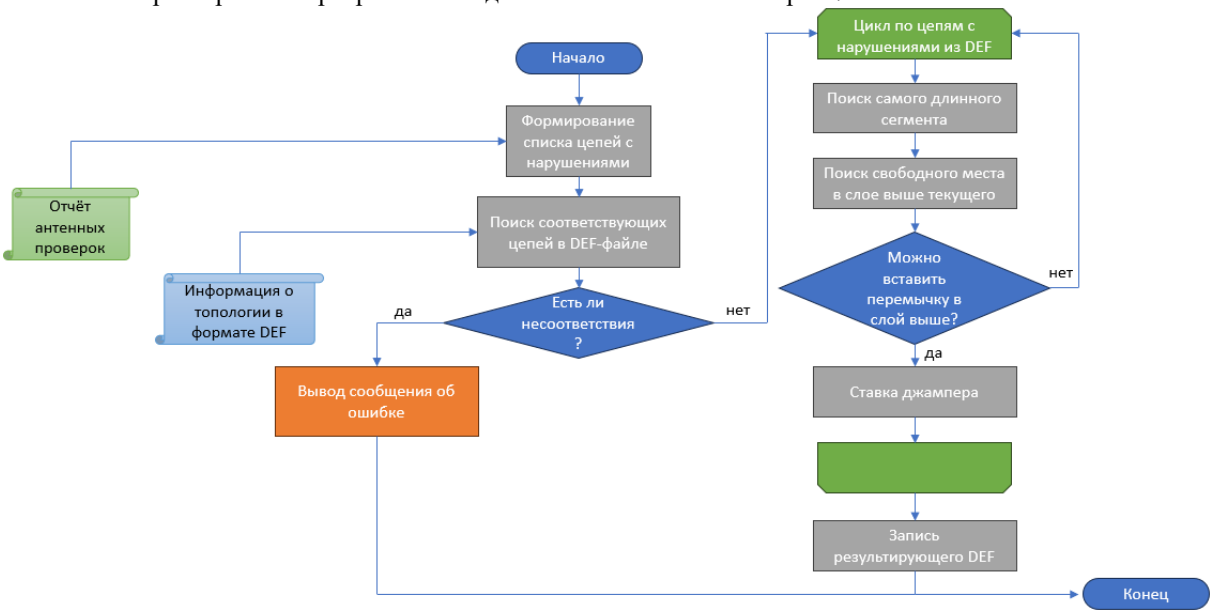


Рисунок 7 – Алгоритм вставки переходов

Программа принимает на вход файлы с топологией схемы в формате DEF и отчёт об антенных проверках и для этих данных выполняет проверку на возможность вставки в более высокий слой для каждой из цепей, в которых возникло нарушение. Вся цепь с нарушениями в файле DEF записана в виде серии сегментов, формирующих цепь; программа ищет самый длинный сегмент и, при возможности, вставляет в него межслойный переход.

Вставка межслойного перехода осуществляется следующим образом:

- для самого длинного сегмента происходит поиск всех пересечений в более высоком слое (если это возможно), поиск сегментов оканчивается формированием массива интервалов – доступных расстояний между пересекающими текущий слой металлами;
- в найденном массиве интервалов ищется самое большое расстояние, при это необходимым условием является то, что самый большой интервал должен быть больше, чем два расстояния шага металла в слое;
- если такой участок находится, в него происходит вставка межслойного перехода.

Алгоритм не способен исправить нарушение в одном из двух способов.

1. Если нарушение обнаружено на самом верхнем слое металла. Очевидно, что в этом случае физически некуда вставлять межслойный переход (потому что нарушение обнаружено на самом верхнем уровне).
2. Если над слоем с нарушением нет места для вставки перемычки из-за обилия проходящих дорожек металлизации. Такая ситуация встречается довольно редко, но, тем не менее, встречается.

Как показали результаты экспериментов, при итерационной реализации вызова программы в маршруте OpenLane для большинства схем тестового набора число нарушений сводится к нулю.

Результаты работы

В результате работы программы формируется лог с результатом работы и итоговый вид топологии, записанный в формате DEF. На рис. 8 показан пример исходного и результирующего фрагмента DEF файла. Видно, что первый металл, лежащий по координатам [8970 197370] [155710 197370] (код слева) дополняется кодом межслойных переходов (код справа).

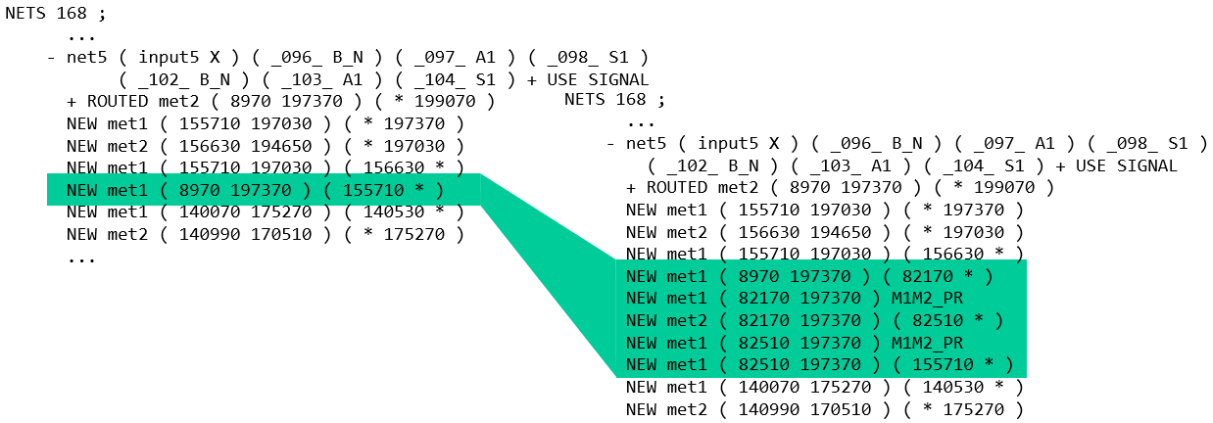


Рисунок 8 – Результат работы программы

Разработанный программный код был встроен в маршрут OpenLane, результат работы программы проходит проверки DRC и LVS, что говорит о корректности его работы.

Заключение

Разработанный код позволяет исправлять большую часть возникающих нарушений. В отличие от подхода по вставке антенных диодов, он не требует ни дополнительных затрат по площади кристалла, ни необходимости перетрассировки при вставке антенных диодов.

Встраивание программы в маршрут OpenLane не требует значительных временных затрат и реализуется внесением незначительного числа изменений в код скрипта запуска маршрута.

В качестве направлений для дальнейшей работы можно выделить следующие:

1. реализация вставки межслойного перехода не в следующий слой, а через слой, это позволит повысить число вставляемых переходов для достаточно плотных участков перекрытия металлов;
2. реализовать вставку перехода максимально близко к месту соединения с затвором, что должно позволить существенно сократить или вовсе свести на нет число итераций вызова программы.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках государственного задания FSMR-2023-0002 (Соглашение №075-03-2023-024)

Литература

1. Камкин А.С., Смолов С.А., Чупилко М.М. СРАВНЕНИЕ ОТКРЫТЫХ МАРШРУТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ АППАРАТУРЫ: QFLOW, OPENLANE, CORIOLIS, SYMBIFLOW // Труды ИСП РАН. 2021. №6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-otkrytyh-marshrutov-proektirovaniya-tsifrovoy-apparatury-qflow-openlane-coriolis-symbiflow (дата обращения: 30.07.2023).

2. M. Shalan and T. Edwards, "Building OpenLANE: A 130nm OpenROAD-based Tapeout- Proven Flow : Invited Paper," 2020 IEEE/ACM International Conference On Computer Aided Design (ICCAD), San Diego, CA, USA, 2020, pp. 1-6.

3. M. Chupilko, A. Kamkin and S. Smolov, "Survey of Open-source Flows for Digital Hardware Design," 2021 Ivannikov Memorial Workshop (IVMEM), Nizhny Novgorod, Russian Federation, 2021, pp. 11-16, doi: 10.1109/IVMEM53963.2021.00008.

4. S. Hesham, M. Shalan, M. W. El-Kharashi and M. Dessouky, "Digital ASIC Implementation of RISC-V: OpenLane and Commercial Approaches in Comparison," 2021 IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Lansing, MI, USA, 2021, pp. 498-502, doi: 10.1109/MWSCAS47672.2021.9531753.

5. D. A. Bulakh, A. V. Korshunov and V. A. Bespalov, "Fast Polygons Proximity Detection for ICs Multiple Patterning Lithography," 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), St. Petersburg, Moscow, Russia, 2021, pp. 2626-2631, doi: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396526.

6. Булах Д.А., Коршунов А.В. Ускорение решения задачи обнаружения близости полигонов в задачах технологии двойного шаблона // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). 2020. Выпуск 3. С. 41-48, doi:10.31114/2078-7707-2020-3-41-48

ОЦЕНКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ

Булах Д.А.[1], Булах Т.В.[2], Коршунов А.В. [1]
НИУ МИЭТ, ГБОУ «Школа №618»
+7 (916) 911-48-45, dima@pkims.ru

Моделирование процесса электронно-лучевой литографии требует проведения расчётов большого числа траекторий электрона при взаимодействии с веществом. Это приводит к возникновению аппаратных затрат настолько больших, что для эффективного их решения применяются методы распараллеливания различного типа. В представляемой работе предлагается анализ возможности сокращения вычислительных затрат на основе оценки зависимости точности вычислений от количества траекторий электронов.

Ключевые слова: интегральная схема, маршрут проектирования, технология производства ИС, электронно-лучевая литография.

Estimation of computational resources for the task of electron-beam lithography simulation. Bulakh D.A., Bulakh T.V., Korshunov A.V. NRU MIET, State Budgetary General Education Institution "High School No 618".

Simulation of electron-beam lithography process requires a large amount of electron trajectories calculations during its interaction with matter. This leads to so large rising of hardware costs that several methods of parallel computations are widely used. In this work we propose an analysis of the possibility of reducing computational costs based on an assessment of the calculation accuracy dependence on the number of trajectories.

Keywords: integrated circuit, design flow, TCAD, electron-beam lithography.

Введение

Технологический процесс изготовления изделий микро- и наноэлеткроники давно перешагнул рубеж разрешающей способности оптических методов литографии, основанных на применении источников света с длиной волны 193нм. Для обхода физических ограничений, связанных с физикой и химией технологии изготовления изделий микроэлектроники на кремниевых пластинах с нормами менее 65нм, сегодня применяются различные техники, направленные на разделение изготовления объектов топологии, расположенных близко друг к другу. В основном к таким техникам относят алгоритмические подходы обработки топологических данных, такие как коррекция оптической близости (Optical Proximity

Correction, OPC) [1,2], технология двойного шаблона (Double Pattern Template, DPT) [1,3-5], и другие. Встречаются также физические подходы к повышению точности воспроизведения рисунка на подложке, в качестве примера можно привести использование фазосдвигающих масок (Phase Shift Mask, PSM) [1,6].

В то же время ведутся работы в области разработки иных физических методов формирования рисунка на поверхности кристалла. Одним из таких методов является электронно-лучевая литография. Электронно-лучевая литография, в отличие от проекционной литографии, формирует рисунок на поверхности кремниевой пластины за счёт бомбардирования её направленным пучком электронов, позволяя тем самым, воспроизводить рисунок с большей точностью и достоверностью.

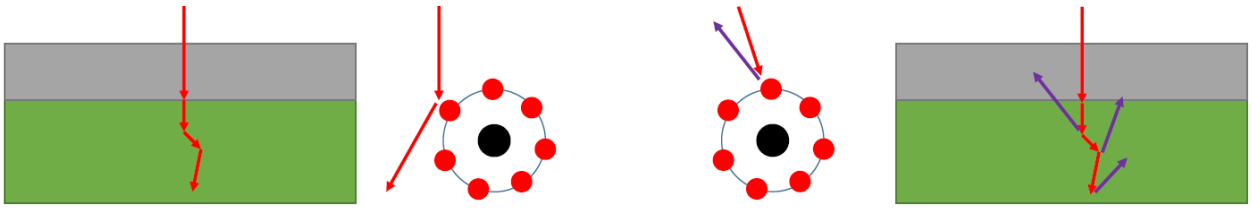
При компьютерном моделировании явлений, связанных с расчётом характеристик элементарных частиц, в том числе и электронно-лучевой литографии, наибольшую популярность получили методы Монте-Карло, основанные на использовании вероятностных механик расчёта характеристик физических процессов [7-9].

Расчёт характеристик требует учёта всё большего и большего количества параметров, потребляя при этом всё большее и большее количество вычислительных ресурсов. Обычно вычисления проводятся путём моделирования значительного числа траекторий. Это ресурсоёмкая задача, для решения которой зачастую применяют методы распараллеливания, в том числе на графических ускорителях [10]. Однако в литературе не рассматривается зависимость точности вычислений от количества траекторий электронов. Решению именно этой задачи и посвящена работа.

Физико-математическая модель

При попадании в вещество электроны, сталкиваясь с атомами кристаллической решётки, многократно меняют траекторию своего перемещения, теряя при этом часть энергии. При имитационном моделировании этого процесса характер траектории определяется типом взаимодействия электронов с веществом и может быть представлен в виде взаимно соединённых отрезков. Угол между двумя соседними отрезками траектории определяется типом взаимодействия электрона и кристаллической решётки. Могут наблюдаться два типа взаимодействия (рис.1).

1. Прямое (неупругое) рассеяние (рис.1-а), при котором электрон отклоняется на небольшой угол от траектории своего движения, такое взаимодействие наиболее вероятно и представляет собой взаимодействие между электроном и электронной оболочкой атома.
2. Обратное (упругое) рассеяние (рис. 1-б), при котором электрон кардинально меняет траекторию движения, такое столкновение наименее вероятно. Происходит в результате столкновения электронов высокой энергии с ядрами атомов.



а) б)

Рисунок 1 - Схемы прямого (а) и обратного (б) рассеяния

При этом в веществе наблюдается ряд явлений, показанный на рис.2.

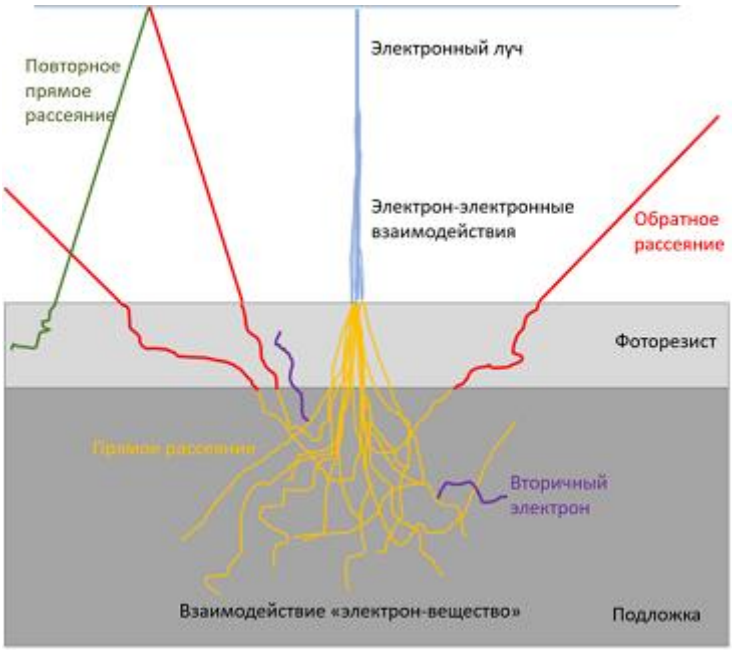


Рисунок 2 – иллюстрация основных явлений, происходящих при электронно-лучевой литографии

В ходе перемещения электрона он теряет свою энергию. В рассматриваемой модели потеря энергии определяется формулой Бете:

$$\frac{dE}{dS} = -7.85 \cdot 10^4 \cdot \frac{Z\rho}{AE} \ln\left(\frac{1.166E}{J}\right) \quad (1)$$

Здесь Z – атомный номер вещества мишени, ρ – его плотность [г/см^3], A – атомный вес вещества мишени [г/моль], E – энергия на текущем участке траектории.

Расстояние между столкновениями вычисляется по формуле (2):

$$dS = -\lambda \cdot \ln(\zeta), \quad (2)$$

где ξ – нормально распределённая случайная величина на интервале (0;1), а λ – средняя длина пробега электрона, задаваемая выражением (3):

$$\lambda = \frac{A}{N_A \cdot \rho \cdot \sigma} \quad (3)$$

В этом выражении N_A – число Авогадро [моль$^{-1}$], σ – величина рассеяния и определяется согласно модели Резерфорда выражением (4):

$$\sigma = 5.21 \cdot 10^{-21} \cdot \frac{Z^2}{E^2} \cdot \frac{4\pi}{\alpha \cdot (\alpha + 1)} \cdot \left[\frac{E + 511}{E + 1024}\right]^2 \quad (4)$$

Здесь α – коэффициент экранирования, рассчитываемый согласно выражению (5):

$$\alpha = 3.4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{Z^{0.67}}{E^2} \cdot \frac{4\pi}{\alpha \cdot (\alpha + 1)} \cdot \left[\frac{E + 511}{E + 1024}\right]^2 \quad (5)$$

Алгоритмическая модель

Для моделирования процесса электронно-лучевой литографии был разработан алгоритм, заключающийся в итерационном перерасчёте координат положения электрона по формулам (1)-(5). Схема перемещения электрона в веществе показана на рис. 3.

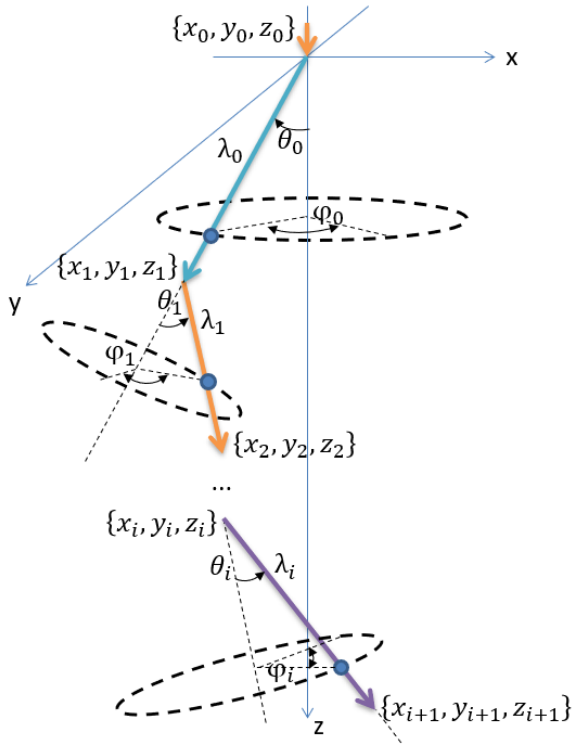


Рисунок 3 – Иллюстрация траектории электрона в веществе

Шаг 1. Определение параметров столкновения.

Считается, что после попадания в вещество в начальной точке происходит первое столкновение, в результате которого происходит первое отклонение от начальной траектории. Для этого вычисляются две величины: угол рассеяния θ и угол азимутального отклонения φ.

Поскольку угол рассеяния определяется типом соударения, необходимо высчитать вероятность одного из событий: упругое или неупругое соударение произойдёт. Для этого генерируется псевдослучайное число R1 в интервале [0; 1000] и анализируется его значение. Если значение R1 составляет менее 10% диапазона (число попало в интервал [0;100]), считается, что происходит наименее вероятное событие и значение угла рассеяния θ генерируется псевдослучайным образом в интервале (0;180]. Если же значение R1 составляет более 10% диапазона (число попало в диапазон (100;1000]), считается, что происходит наиболее вероятное событие – неупругое рассеяние, и значение угла рассеяния θ также генерируется псевдослучайным образом, но уже в интервале [0;10].

Значение угла азимутального отклонения φ генерируется псевдослучайно по формуле (6):

$$\varphi = 2 \cdot \pi \cdot R2 \tag{6}$$

Шаг 2. Определение характеристики перемещения.

Для определения нового значения координаты выполняется вычисление длины свободного пролёта электрона по формулам (2)-(5) и производится перерасчёт координат по формуле (7) с учётом домножения на полученное значение dS и смещения от текущих координат:

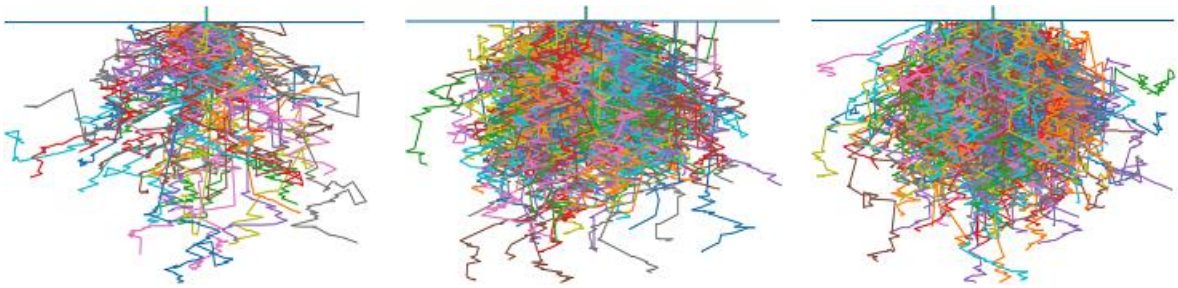
$$\begin{pmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \\ z_{i+1} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} cos\theta_i \cdot cos\varphi_i & cos\theta_i \cdot sin\varphi_i & -sin\theta_i \\ -sin\varphi_i & cos\varphi_i & 0 \\ sin\theta_i \cdot cos\varphi_i & sin\theta_i \cdot sin\varphi_i & cos\theta_i \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} \tag{6}$$

Шаг 3. Оценка потерь энергии.

В реализуемой модели считается, что потеря энергии происходит только при упругом взаимодействии, когда электрон коренным образом меняет свою траекторию. Потеря энергии оценивается по формуле (1).

Задача оценки вычислительных затрат

Рассмотрим примеры нескольких запусков моделирования с различным числом запускаемых электронов (рис.4).

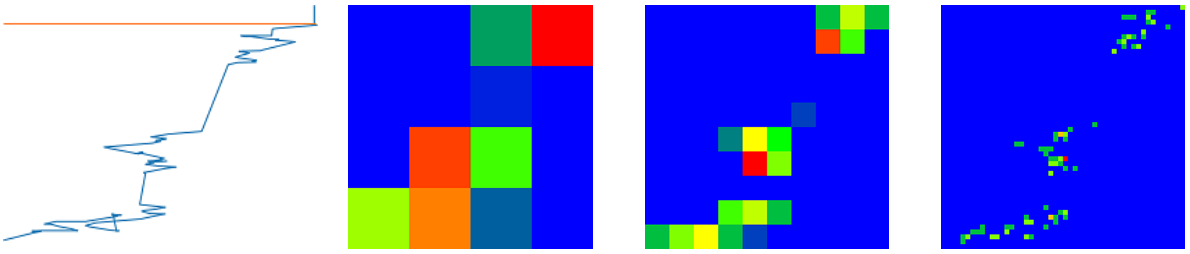


а) б) в)

Рисунок 4 – Примеры траекторий электронов для запуска с различным числом траекторий: 100 (а), 500 (б), 1000 (в)

Из рисунка видно, что, если для 100 траекторий ещё практически нельзя определить чётких границ формируемой области, поскольку достаточно большое число траекторий электронов имеют достаточно сильные выбросы из основной области взаимодействия, то разницы между 500 и 1000 запусками уже практически не ощущается, а число покидающих основную область взаимодействия электронов ничтожно мало.

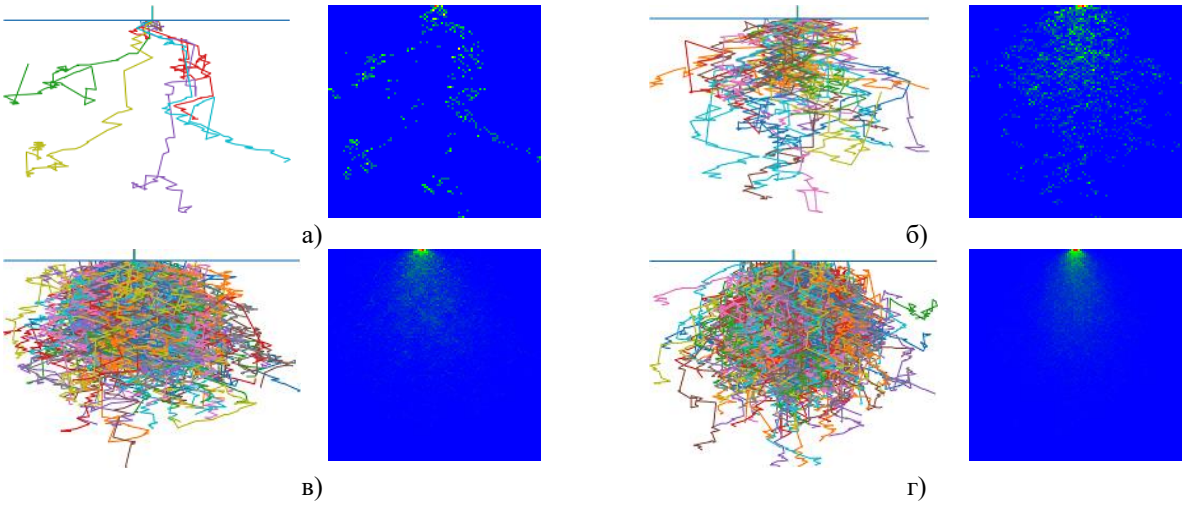
Для оценки изменения плотности заполнения области был реализован следующий подход. Область покрывается сеткой с заданным шагом и в случае, если через ячейку сетки проходит электрон, область закрашивается таким образом, чтобы в итоге ячейки с максимальным числом прохождения через них имели максимальную интенсивность цвета, а с минимальным – минимальную. Варианты такого поля разной размерности для одной траектории показан на рис. 5.



а) б) в) г)

Рисунок 5 – Иллюстрация наложения сетки для исходной (а) траектории электрона с различным шагом: шаг сетки равен 4 (б), шаг сетки равен 10 (в) и шаг сетки равен 50 (в)

На рис.6 показаны исходные траектории и матрицы анализа различного числа траекторий для сетки с шагом 100.



а) б) в) г)

Рисунок 6 – Результаты анализа плотности распределения соударений для 10 траекторий (а), 50 траекторий (б), 500 траекторий (в), 1000 траекторий (г)

Из рисунка видно, что если для 10, 50 и 500 траекторий можно визуально увидеть отличие, то для большого числа траекторий (сравнивая 500 и 1000 траекторий) сделать это визуально затруднительно.

Оценка разности плотностей соударений проводилась аналогичным образом, но в качестве визуализируемой матрицы бралась матрицы разниц плотностей между двумя рассматриваемыми количествами траекторий, нормированные для получения одинаковых абсолютных значений числа траекторий. Результат представлен на рис. 7.

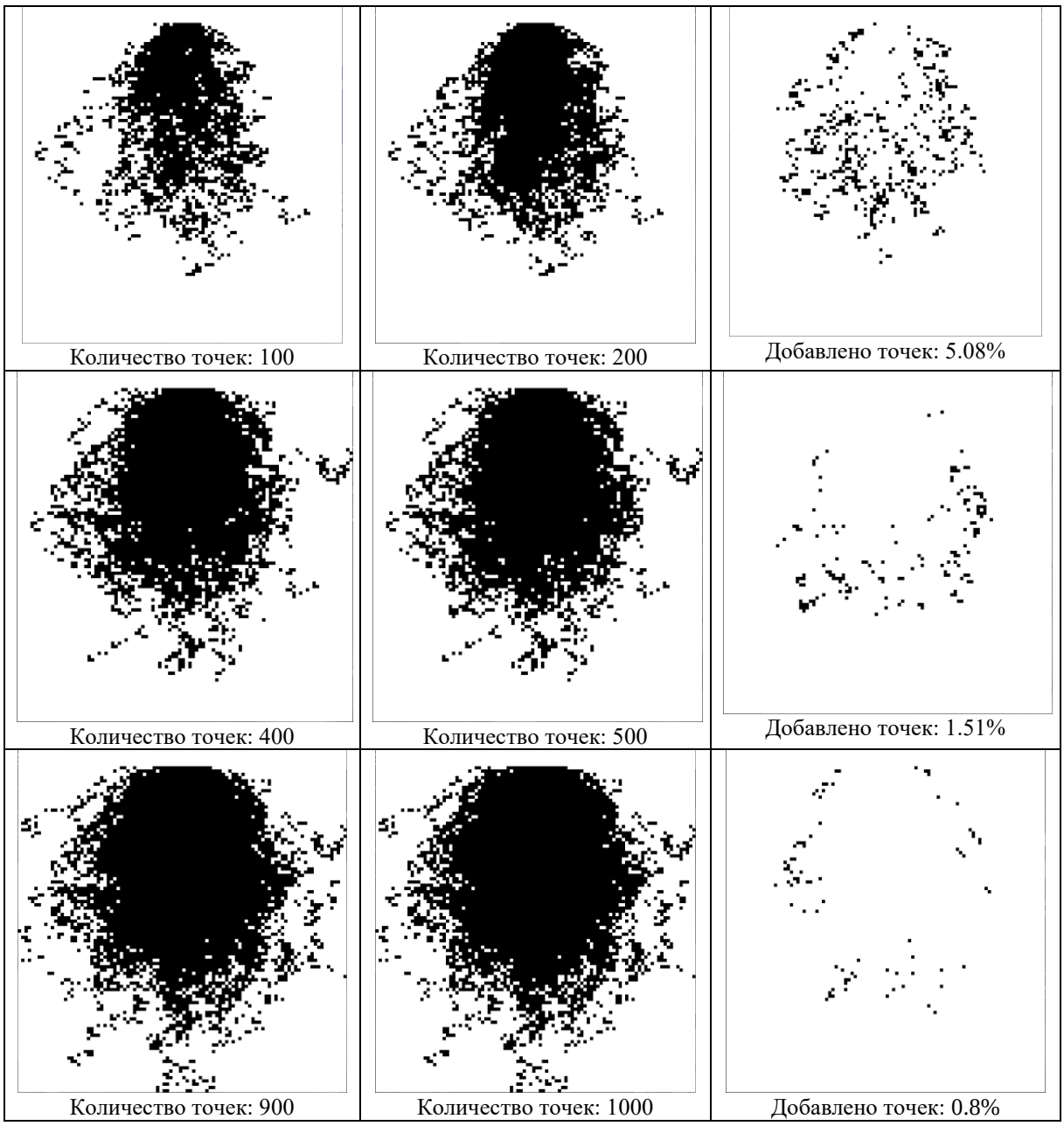


Рисунок 7 – Анализ изменения плотности соударений для различного числа траекторий

Заключение

Проведённый анализ показал, что при достижении некоторого числа траекторий, определяемого задаваемой точностью вычислений, практически перестаёт меняться характер формируемой области. Таким образом можно сделать вывод, что применение различных методик для ускорения вычислений, например, распараллеливания, в задаче моделирования процесса электронно-лучевой литографии необходимы только при существенном увеличении вычислительной нагрузки с точки зрения сложности вычислений, но не для моделирования большего числа траекторий.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках государственного задания FSMR-2023-0002 (Соглашение №075-03-2023-024)

Литература

1. Тишин Ю. И., Адамов Д. Ю., Сомов О. А. Проектирование для возможностей производства // Труды МФТИ. 2010. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-dlya-vozmozhnostey-proizvodstva (дата обращения: 20.08.2023).
2. Y. Hou and Q. Wu, "Optical Proximity Correction, Methodology and Limitations," 2021 China Semiconductor Technology International Conference (CSTIC), Shanghai, China, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/CSTIC52283.2021.9461507.
3. A. B. Kahng, C. -H. Park, X. Xu and Hailong Yao, "Layout decomposition for double patterning lithography," 2008 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design, San Jose, CA, USA, 2008, pp. 465-472, doi: 10.1109/ICCAD.2008.4681616.
4. X. Tang and M. Cho, "Optimal layout decomposition for double patterning technology," 2011 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD), San Jose, CA, USA, 2011, pp. 9-13, doi: 10.1109/ICCAD.2011.6105298.
5. Булах Д.А., Коршунов А.В. Ускорение решения задачи обнаружения близости полигонов в задачах технологии двойного шаблона // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). 2020. Выпуск 3. С. 41-48, doi:10.31114/2078-7707-2020-3-41-48
6. C. Constancias, M. Richard, D. Joyeux, J. Chiaroni, R. Blanc, J. Y. Robic, E. Quesnel, and V. Muffato, “Phase-shift mask for EUV lithography,” Proc. SPIE 6151, 61511W (2006). doi: https://doi.org/10.1117/12.655583
7. Подлипнов, В.В. Шабека, А.С. Куприянов, А.В. Моделирование взаимодействия электронного пучка с веществом методом Монте-Карло // Материалы Международной конференции и молодёжной школы «Информационные технологии и нанотехнологии». 2016. с. 153-157 URL: http://repo.ssau.ru/handle/Informacionnye-tehnologii-i-nanotehnologii/Modelirovanie-vzaimodeistviya-elektronnogo-puchka-s-veshestvom-metodom-MonteKarlo-60636 (дата обращения: 17.08.2023)
8. Поздеева, Т.Ю. Моделирование методом Монте-Карло взаимодействия электронного луча с веществом / Т.Ю. Поздеева, А.А. Сметкин // Машиностроение. - 2017. - Т. 2. - С. 7-21.
9. Urbánek, Michal & Kolarik, Vladimir & Krátký, Stanislav & Matějka, M. & Horacek, Miroslav & Chlumská, J. (2013). Monte Carlo simulation of proximity effect in E-beam lithography. NANOCON 2013 - Conference Proceedings, 5th International Conference. 723-726.
10. K. Arumugam, D. Ranjan, M. Zubair, B. Terzić and A. Godunov, "Memory-Efficient Parallel Simulation of Electron Beam Dynamics Using GPUs," 2016 IEEE 23rd International Conference on High Performance Computing (HiPC), Hyderabad, India, 2016, pp. 212-221, doi: 10.1109/HiPC.2016.033.

СОЗДАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

Яловнаров С.В.
НИУ ВШЭ
+7 (916) 666-13-80, yalovnarov@mail.ru

Данная работа посвящена разработке стенда, который позволит верифицировать основные показатели безотказности ЭРИ. В работе приведено описание структуры стенда и контрольно-измерительного модуля для проведения ускоренных испытаний резисторов, а также построены их структурные схемы. Данное исследование проводится в рамках выполнения проекта по созданию программно-аппаратного комплекса верификации показателей надежности типовых групп резервирования.

Ключевые слова: ускоренные испытания, надежность, интенсивность отказов, показатели безотказности.

Development of the structure of the hardware and software complex for accelerated testing. Yalovnarov S.V. HSE

This work is devoted to the development of a stand that will allow verifying the main indicators of reliability of ERI. The paper describes the structure of the stand and the control and measuring module for accelerated testing of resistors, as well as their block diagrams. This study is carried out as part of a project to create a hardware and software complex for verifying reliability indicators of typical redundancy groups.

Keywords: accelerated testing, reliability, failure rate, reliability indicators.

Введение

В современных радиоэлектронных средствах (РЭС) для обеспечения надежности количество резервируемых электрорадиоизделий (ЭРИ) в печатных узлах сильно завышено. Этот факт негативно влияет на массогабаритные характеристики устройств. Причиной этому служит недостоверность математических моделей оценки основных показателей надежности вследствие того, что данные интенсивности отказов, полученные в ходе расчетов, не совпадают с результатами, полученными экспериментальным путем [1].

Разработанная в ходе данного исследования структура стенда позволит реализовать впоследствии его настоящий прототип, с помощью которого можно будет проводить ускоренные испытания для валидации уточненной математической модели оценки основных показателей безотказности ЭРИ.

Целью работы является повышение достоверности оценки показателей надежности при проектировании РЭС. Для достижения поставленной цели были изучены теоретические материалы по обеспечению надежности РЭС [2] и мостовым методам измерения сопротивления резисторов, а также построена и проанализирована структура программно-аппаратного комплекса.

Данное исследование состоит из двух частей. В первом разделе описывается структура программно-аппаратного комплекса и указывается предназначение его основных компонентов. Во втором разделе приводится описание структурной схемы контрольно-измерительного модуля и алгоритм расчета сопротивления резисторов.

Структура стенда

Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс для проведения ускоренных испытаний резисторов включает в себя 4 основных компонента (рис. 1): печатный узел, климатическая испытательная камера, контрольно-измерительный модуль и персональный компьютер (ПК).

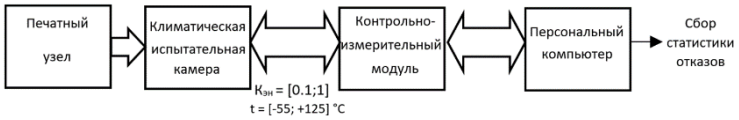


Рисунок 1 – Структурная схема стенда.

Печатный узел состоит из разъемов и резисторов, являющихся объектом исследования, и мультиплексоров, позволяющих считывать значения напряжения и тока с большого количества резисторов.

Вторым компонентом стенда является климатическая испытательная камера, которая предназначена для контроля надежности ЭРИ. С ее помощью есть возможность варьировать такой параметр среды как температура для проведения ускоренных испытаний. Для данного исследования была выбрана камера Climcontrol M-70/180-80 КТХ (рис. 2) [3]. В саму камеру помещен печатный узел, который имеет проводное соединение с контрольно-измерительным модулем, располагающимся вне камеры, через специальное герметичное отверстие.

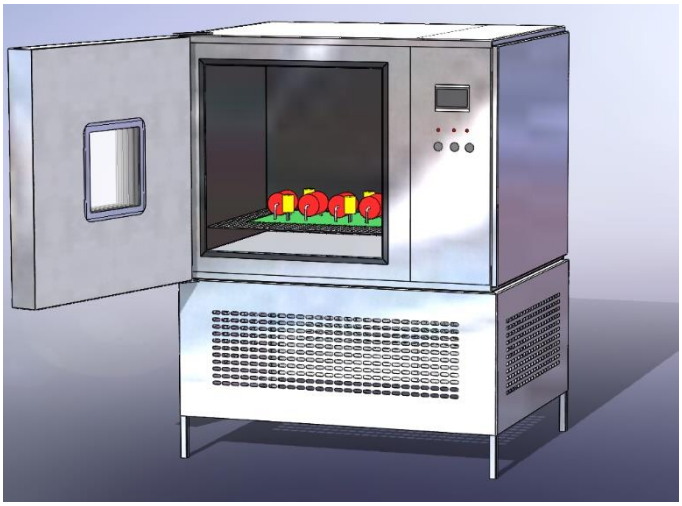


Рисунок 2 – Климатическая испытательная камера Climcontrol M-70/180-80 КТХ.

Контрольно-измерительный модуль предназначен для измерения электрических характеристик ЭРИ, таких как сила тока и напряжение, создания управляющих сигналов и передачи этой информации на ПК. Данный модуль состоит из прецизионных аналоговых ключей, предназначенных для отключения цепи

в случае выхода из строя резисторов, диодов Шоттки, использующихся для защиты от обратного тока, схемы защиты от короткого замыкания [4], датчиков тока, необходимых непосредственно для измерения значений токов, протекающих через исследуемые резисторы, оптопар, которые выполняют функцию гальванической развязки и предназначены для разделения схемы на силовую и измерительную части. Разрабатываемый контрольно-измерительный модуль предусматривает регулировку трех ускоряющих факторов для проведения испытаний: температуры эксплуатации, коэффициента электрической нагрузки и частоту включения-выключения питания платы с исследуемыми резисторами.

Последним элементом стенда является ПК, который считывает полученную информацию с контрольно-измерительного модуля, обрабатывает ее, а затем, проанализировав электрические характеристики ЭРИ, делает вывод о том, какие компоненты вышли из строя.

Структура контрольно-измерительного модуля

Одной из ключевых частей разрабатываемого стенда является контрольно-измерительный модуль. В рамках данной научной работы рассматривается проведение ускоренных испытаний в связи с ограниченностью времени, выделяемого на их проведение [5]. Ускорение достигается увеличением нагрузки, подаваемой на объект исследования. Существует множество факторов, изменение которых позволяет сокращать время экспериментов, ускоряя деградационные процессы в ЭРИ: температура окружающей среды, влажность, механические нагрузки, электрическая нагрузка, частота включений-выключений объектов. В данной научной работе рассматриваются 3 из них:

- температура окружающей среды;
- электрическая нагрузка;
- частота включений-выключений питания экспериментального модуля.

Контрольно-измерительный модуль позволяет управлять данными факторами. Соответственно, для этого необходимы 3 блока:

- блок управления температурой окружающей среды;
- блок управления электрической нагрузкой;
- блок управления частотой включений-выключений питания схемы.

Управление температурой, в частности ее увеличения и уменьшение в процессе проведения испытаний, достигается программным методом. Выбранная климатическая камера Climcontrol M-70/180-80 КТХ позволяет изменять температуру в диапазоне от –70 °С до +180 °С. В процессе проведения ускоренных испытаний нижняя граница температуры составляет -55 °С, верхняя равна +125 °С, так как это диапазон рабочих температур исследуемых резисторов [6].

Управление электрической нагрузкой и частотой включений-выключений питания платы с резисторами реализовано на программном уровне. Контрольно-измерительный модуль позволяет увеличить коэффициент электрической нагрузки до 1 и подавать питание с частотой 1 Гц.

Изменение данных трех факторов позволяет достичь необходимого для определения наработки на отказ рассматриваемых резисторов согласно отечественному справочнику по надежности 2006 года [7].

Кроме того, для проведения эксперимента необходимо не только управлять изменением выбранных параметров, но и измерять некоторые величины. Основной характеристикой резисторов является электрическое сопротивление. Изначально было решено реализовать схему измерения сопротивления на основе одного из методов [8]:

- Мостовая схема Кельвина;
- Мостовая схема Уитстона;
- Мостовой метод Мегома.

Каждый из методов подходит для измерения сопротивления постоянного тока в различных диапазонах: низком (до 1 Ом), среднем (от 1 Ом до 100 кОм) и высоком (более 100 кОм). Однако для оптимизации контрольно-измерительного модуля был разработан алгоритм, позволяющий рассчитывать сопротивление резисторов на основе значений силы тока и электрического напряжения и реализованный на программном уровне. На рисунке 3 представлена структура контрольно-измерительного модуля:

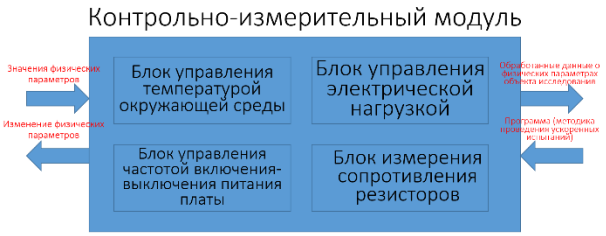


Рисунок 2 – Структурная схема контрольно-измерительного модуля.

Таким образом, контрольно-измерительный модуль состоит из четырех основных блоков, позволяющих управлять выбранными параметрами, увеличивая или уменьшая их значения, и блока измерения сопротивления, позволяющим определять значение данной величины на исследуемых резисторах.

Заключение

В данной работе была проведена разработка и исследование структуры программно-аппаратного комплекса для проведения ускоренных испытаний, в частности самого стенда и контрольно-измерительного модуля.

Таким образом, верификация математических моделей оценки показателей надёжности позволяет сократить количество ЭРИ, используемых в РЭС и тем самым сделать устройства более компактными и легкими, соответствующими современным требованиям надежности электроники.

Литература

1. Кулибаба, А. Я. Анализ влияния входного контроля и дополнительных испытаний на надежность электронной компонентной базы / А. Я. Кулибаба, А. А. Сашов, М. К. Суконкин, А. Ю. Штукарев. - Текст: электронный // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. - 2020. - № 3 (7). - С. 87-92. - URL: https://spacedevice.ru/wp-content/uploads/2020/09/10_p87_0703.pdf (дата обращения 15.01.2023).
2. RIAC-HDBK-217Plus. Handbook of 217PlusTM reliability prediction models. USA: RIAC, 2006. 170 p.
3. Испытательная Климатическая камера Climcontrol M-70/180-80 КТХ. - Текст: электронный // Мир оборудования: сайт. - 2022. - URL: https://miroborudovaniya.ru/product/ispytatelnaya-klimaticheskaya-kamera-climcontrol-m-70-180-80-kth/ (дата обращения: 10.01.2023).
4. Становой, А. Схемы защиты от короткого замыкания и перегрузок в блоке питания / А. Становой. - Текст: электронный // Запитка: [сайт]. - 2022. - 10 февр. - URL: https://zapitka.ru/pitanie/shema-zaschity-ot-korotkogo-zamykaniya-v-bloke-pitaniya (дата обращения: 11.01.2023).
5. РД 50-424-83. Надежность в технике. Ускоренные испытания. Основные положения: руководящий нормативный документ: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 10 октября 1983 г. № 4903: введен впервые: дата введения 1985-01-01 / разработан Государственным комитетом СССР по стандартам. - Москва: Издательство стандартов, 1985. - 12 с. - Текст: непосредственный.
6. CF-25 (C1-4) 0.25 Вт, 36 Ом, 5%, Резистор углеродистый. - Текст: электронный // ЧИП и ДИП: сайт. - 2023. - URL: https://www.chipdip.ru/product0/41290 (дата обращения: 10.01.2023).
7. Надежность ЭРИ 2006: справочник. Москва: МО РФ, 2006. С. 641.
8. Measurement of Resistance. - Текст: электронный // Electrical4U: сайт. - 2020. - URL: https://www.electrical4u.com/measurement-of-resistance (дата обращения: 11.01.2022).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЛА ПО ИНФОРМАЦИИ ОТ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Харьков В.П.[1], Горшков П.С.[1], Полякова А.А.[1], Исаев С.А.[2]
[1]ООО «НПО НаукаСофт», г. Москва, [2]НПП «Топаз», г. Москва

В статье рассмотрена задача автономного прогнозирования траектории движения ЛА по информации микромеханических датчиков угловой скорости и акселерометров. Для повышения точности измерения ускорений, действующих на объект, предложено оценивать смещение нулей датчиков по информации от СНС. Алгоритмы оценивания построены на основе калмановской фильтрации.

Показано влияние точности определения углов ориентации ЛА на эффективность опредления местоположения объекта. Выполнено численное моделирование системы, подтверждающее эффективность полученных результатов.

Ключевые слова. Датчики угловых скоростей и перегрузок, модель измерителей ускорений, фильтр Калмана, модель наблюдений, модель системы оценивания. Научно-прикладные результаты исследования.

Prediction of the aircraft spatiotemporal trajectory by means of micromechanical sensors information. Kharkov V.P., Gorshkov P.S., Polyakova A.A., Isaev S.A

The article considers the problem of aircraft trajectory autonomous prediction by means of information from micromechanical angular velocity sensors and accelerometers. To improve the measuring accuracy of

accelerations acting on an object, it is proposed to estimate sensors bias by means of GPS information. The estimation algorithms are based on Kalman filtering. The influence of the aircraft attitude angles detection accuracy on the effectiveness of the object position-finding is shown. Numerical modelling of the system is performed, confirming the effectiveness of the results obtained.

Keywords. Angular velocity and overload sensors, accelerometers model, Kalman filter, observation model, evaluation system model. scientific and applied research results.

Введение

Традиционно местоположения ЛА определяются либо геометрическими методами (ближней и дальней радионавигации, спутниковой навигационной системой (СНС) астронавигации и другими внешними измерителями), либо методами счисления пути по информации о векторе путевой скорости. Обычно путевая скорость может быть измерена либо доплеровскими радиосистемами, либо гироскопическими инерциальными навигационными системами (ИНС) [3].

До настоящего времени ИНС строились на, так называемых, платформенных системах с механическими гироскопами. В последнее время, начиная с конца прошлого века, начали находить применение бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС), гироскопические измерения информации которых строились либо на волоконно-оптических, либо на лазерных чувствительных элементах. Развитие микроэлектронных технологий привело к тому, что и эти чувствительные элементы стали заменяться на датчики по технологии ММЭС. Не обсуждая преимущества и недостатки БИНС, чувствительные элементы которых построены по технологии ММЭС, следует отметить, что они не могут функционировать в автономном режиме с заданным уровнем точности требуемое время. Обычно они используются с внешним корректором, например, СНС [5].

Естественно полагать, что точность и надежность выходной навигационной информации у комплексной системы не хуже, чем у каждого отдельного навигационного датчика – БИНС или СНС.

При разработке навигационных систем возникают две группы требований. Первая – это точность определения пространственно-временного положения подвижного объекта, а вторая – это массогабаритные ограничения. Существует ряд объектов, когда массогабаритные ограничения являются определяющими. В этом случае навигационная система строится на основе СНС, а БИНС в этом случае является резервным датчиком навигационной информации в случае потери СНС навигационного «созвездия» при маневрировании или при воздействии внешних возмущающих факторов. Учитывая массогабаритные требования можно утверждать, что потребные вычислительные ресурсы, необходимые для реализации алгоритма БИНС, должны быть минимальными. А, следовательно, и сам алгоритм должен быть достаточно простым не требующим при его реализации значительных вычислительных ресурсов.

В статье рассмотрена задача построения навигационной системы на основе БИНС, у которой блок чувствительных элементов представляет собой совокупность микромеханических датчиков угловой скорости вращения и акселерометров, расположенных ортогонально по соответствующим осям системы координат, связанной с платформой крепления датчиков. При этом режим оценивания погрешностей датчиков предусматривает использование информации от СНС, а прогнозирование пространственно-временной траектории движения ЛА выполнено в автономном режиме.

Основные математические соотношения

Поставленную задачу будем решать на основе показаний акселерометров с использованием их углового положения.

Известно [2], что акселерометр измеряет кажущееся ускорение $\vec{a}(t)$, равное

$$\vec{a}(t) = \vec{w}(t) - \vec{g}, \tag{1}$$

где $\vec{w}(t)$ – абсолютное ускорение;
$\vec{g}(t)$ – удельное гравитационная сила.

Абсолютное ускорение $\vec{w}(t)$ есть производная от вектора абсолютной скорости $\vec{V}(t)$

$$\vec{w}(t) = \frac{d}{dt}\vec{V}(t) = \frac{d\vec{V}^*}{dt} + \vec{w}_a^{\Pi} \times \vec{V}, \tag{2}$$

где $\vec{V}^*(t)$ – вектор скорости относительно подвижной системы координат;
$\vec{w}_a^{\Pi}(t)$ – угловая скорость системы координат или платформы.

В (2) учтено, что выбрана система координат OXYZ, которая связана с платформой так, что ее оси проходят через оси чувствительности акселерометров.

Для дальнейших расчетов целесообразно перейти от абсолютной скорости $\vec{V}$ к путевой $\overrightarrow{W}$:

$$\vec{V} = \overrightarrow{W} + \vec{\Omega} \times \vec{R}\,, \tag{3}$$

где $\vec{R}$ – радиус – вектор текущей точки М;

$\vec{\Omega} \times \vec{R}$ – линейная периферическая скорость, обусловленная вращением Земли.

Продифференцируем (3), тогда имеем:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d\vec{w}}{dt} + \vec{\Omega} \times \frac{d\vec{R}}{dt} = \frac{d\vec{w}}{dt} + \vec{\Omega} \times \vec{V}\,.. \tag{4}$$

Абсолютную производную $\frac{d\vec{w}}{dt}$ представим как сумму производной в системе координат OXYZ, связанной с платформой и производной $\vec{w}_a^{\Pi} \times \overrightarrow{W}$ от переносного движения платформы.

$$\frac{d\vec{w}}{dt} = \frac{d\vec{w}^*}{dt} + \vec{w}_a^{\Pi} \times \overrightarrow{W}. \tag{5}$$

Подставляя (3) и (5) в (4) получаем:

$$\vec{w}(t) = \frac{d\vec{w}^*}{dt} + \vec{w}_a^{\Pi} \times W + \vec{\Omega} \times \overrightarrow{W} + \vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{R}).$$

Учитывая, что абсолютная угловая скорость $\vec{w}_a^{\Pi}$ платформы представляет собой сумму относительной $\vec{w}^{\Pi}$ и переносной $\vec{\Omega}$ скоростей, а вектор интенсивности гравитационного поля с ускорением $\vec{g}^T$ свободного падения связаны соотношением

$$\vec{g} = \vec{g}^T + \vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{R}),$$

тогда получаем

$$\vec{a} = \vec{w} - \vec{g} = \frac{d\vec{w}^*}{dt} + \vec{w}^{\Pi} \times W + 2\vec{\Omega} \times \overrightarrow{W} - \vec{g}^T. \tag{6}$$

В скалярной форме соотношения (6) запишется в виде:

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{dWx}{dt} + (w_y^{\Pi} + 2\Omega_y)W_Z - (W_z^{\Pi} + 2\Omega_z)W_y - g_x^T\,; \\ a_y &= \frac{dWy}{dt} - (w_x^{\Pi} + 2\Omega_x)W_z + (W_z^{\Pi} + 2\Omega_z)W_x - g_y^T\,; \\ a_z &= \frac{dWz}{dt} + (w_x^{\Pi} + 2\Omega_x)W_y - \left(w_y + 2\Omega_y\right)W_x - g_z^T. \end{aligned} \tag{7}$$

Система (7) определяет величину ускорения, действующего на акселерометры или уравнения идеального акселерометра. Реальная модель акселерометра, учитывающая инерционные свойства измерительного элемента и возмущения, действующие на него, может быть представлена в виде дифференциального уравнения второго порядка:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} + \mathcal{L}_1\frac{d\delta}{dt} + \mathcal{L}_0\delta(t) = \mathcal{L}_0 a_j + \Delta_j, \tag{8}$$

где $\mathcal{L}_1$, $\mathcal{L}_0$ – числовые коэффициенты, определяющие динамические свойства чувствительного элемента; a_j – ускорение, действующее по оси $j = x, y, z$; Δ_j - стохастическое возмущение, равное :

$$\Delta_j = \theta + e_j, \tag{9}$$

где θ – некоторый тренд, коэффициенты которого есть случайные числа;

e_j - флуктуационная погрешность, воздействующая на чувствительный элемент из-за вибрации корпуса, акустических явлений и т.д.

Анализ уравнений (7) и (8) показывает, что непосредственное использование показаний акселерометров для определения местоположения ЛА не представляется возможным из-за наличия

методических и инструментальных погрешностей. Запишем величину этих погрешностей для одной измерительной оси, например, OX.

$$\mathcal{E}_x = \Delta_{\Sigma x} + \xi_x, \quad (10)$$

где $\Delta_{\Sigma x}$ – случайная постоянная погрешность;
$\xi_x \in N(0,\ \sigma^2)$ – флуктуационная составляющая.

С учетом (8) и (10) математическую модель, определения местоположения ЛА можно представить в прямоугольной земной системе координат [1]:

Следует отметить, что пересчет составляющих вектора ускорений из связанной системы координат OXYZ в нормальную земную систему координат OENH, у которой ось ON направлена на север по меридиану, ось OE – на восток и, соответственно, ось OH – вертикально, выполнялся с учетом углов тангажа v, крена γ и курса φ.

Из приведенных соотношений следует, что для решения задачи прогнозирования траектории полета ЛА в автономном режиме по измерениям датчиков угловой скорости и ускорений микромеханического исполнения необходимо иметь возможность точного измерения углов ориентации v, γ и φ, а также ускорений.

В данной статье решается задача точного определения ускорения ЛА в предположении, что имеется навигационная информация от СНС.

Запишем уравнения движения ЛА в матричной формуле:

$$\frac{dx}{dt} = Ax(t) + FU + B\xi\ ;$$
$$Z = Hx(t) + D\eta, \quad (11)$$

где $x -$ – вектор состояния;
$U = (a_y, a_r)^T$ - вектор управляющих воздействий;
$Z = (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4)^{\Gamma}$ - вектор наблюдений.

Начальное значение вектора $x(t_0)$ распределено по нормальному закону с параметрами $x(t_0) \in N(m, P_0)$, а вектора $\eta(t)$ и $\xi(t)$ представляют собой центрированные случайные процессы типа белого шума с известными матрицами интенсивности R и Q соответственно.

Требуется по наблюдениям $Z(t)$ оценить вектор состояния $X(t)$ в дискретные моменты времени t_i, где i = 0,1,2,…

Решение этой задачи будет определять в виде фильтра Калмана в разностной форме [3], [4]. Тогда имеем:

1. Алгоритм экстраполяции (прогноза)

$$\bar{X}(t_{i+1}) = \Phi\, \hat{X}(t_i) + GU(t_i), i = 0,1,2,\ldots$$

Фундаментальная матрица Ф и матрица при управлении G определяются известными уравнениями вида [6]

$$\frac{d\Phi}{dt} = A\Phi(t,\tau), \Phi(t,t) = E,$$

$$\frac{dG}{dt} = A\Phi(t) + F(t), \quad G(0) = 0.$$

2. Вычисление дисперсионной матрицы ошибки прогноза P.

$$P_{i+1} = \Phi V_i \Phi^T + GQG^T.$$

3. Вычисление дисперсионной матрицы ошибки прогноза V.

$$V_{i+1} = (K_{i+1}H - E)P_{i+1}(K_{i+1}H - E)^T + K_{i+1}RK_{i+1}^T,$$

где $K_{i+1} = P_{i+1}H^T(HP_{i+1}H^T + R)^{-1}$.

4. Определение вектора оценок $\hat{X}_{i+1}$ системы (11)

$$\hat{X}_{i+1} = \bar{X}_{i+1} + K(Z_{i+1} - H\bar{X}_{i+1}).$$

Заметим, что для вычисления прогноза $\bar{X}_{i+1}$ вектора состояния использовались вертикальное a_y и горизонтальное $a_г$ ускорения ЛА, вычисленные по измеренным значениям составляющих вектора ускорения в связанной системе координат по формуле :

$$\begin{pmatrix} a_E \\ a_N \\ a_H \end{pmatrix} = CP \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix},$$

где P – матрица размерности (3x3), согласующая связанную «навигационную» систему координат с самолетной

$$\mathrm{P} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

C – известная матрица направляющих косинусов, зависящая от углов ориентации ЛА.

Алгоритм оценивания вектора состояния функционирует только при исправной СНС. В противном случае решается задача прогноза в соответствии с уравнением

$$\bar{X}(t_{i+1}) = \Phi \bar{X}(t_i) ,$$

с начальными условиями $\bar{X}(t_K) = \hat{X}(t_K)$.

Здесь момент времени t_K соответствует моменту отказа СНС.

Результаты моделирования

В процессе моделирования исследовались две взаимосвязанных задачи. Первая задача связана с оценкой точности оценивания модели функционирования микромеханических датчиков ускорения и соответственно определялась точность прогноза траектории движения объекта. Вторая задача была связана с оценкой влияния маневрирования ЛА на точность автономного оценивания траектории движения.

На рисунках 1 и 2 показана точность оценивания смещения нуля акселерометра в лабораторных условиях (рисунок 1) и в «полете» (рисунок 2). При моделировании полагалось смещение нуля равным 2 м/с^2, а среднеквадратические отклонения возмущений, действующих на объект 0,1 м/с^2 и 1,0 м/с^2 соответственно. Из результатов моделирования следует, что постоянное смещение нуля оценивается достаточно точно. Ошибка оценивания не превышает 1%, а время оценивания более 60с. Следует отметить, что увеличение коэффициентов фильтра приводит к уменьшению времени сходимости, но при этом возрастает ошибка оценивания.

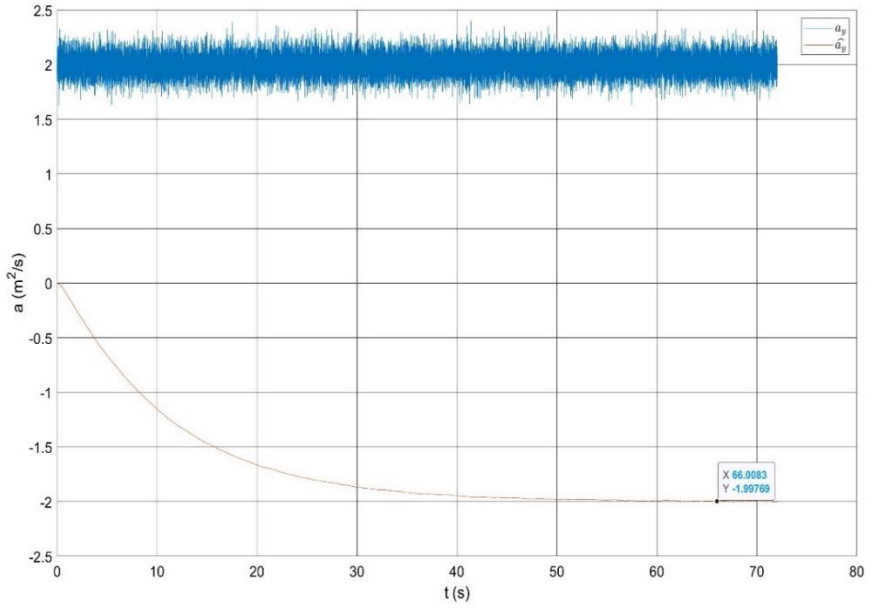


Рисунок 1 - Процесс оценивания постоянной составляющей ошибки акселерометра в стационарных условиях.

Возможность использования показаний акселерометров в задачах прогнозирования траектории движения ЛА иллюстрируется на рисунках 3 и 4, где показана точность прогнозирования скоростей V_N и V_E. В общем случае величина ошибки по скорости представляет собой колебательный характер, относительно некоторого значения. Координатная ошибка естественно полагать возрастает пропорционально времени прогноза.

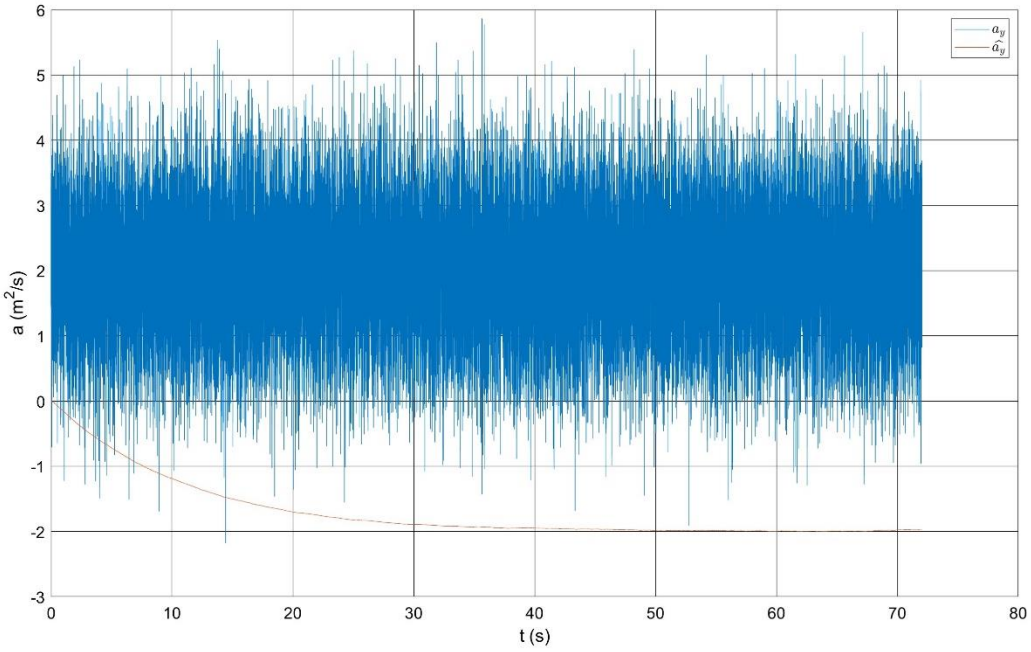


Рисунок 2 - График изменения оценки смещения нуля в реальных условиях.

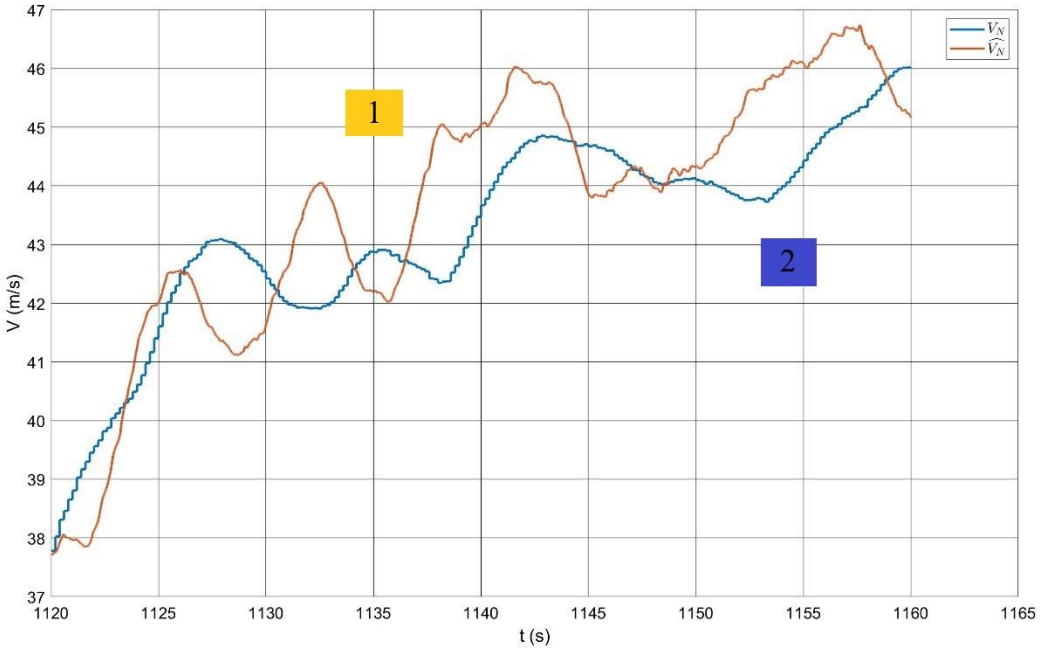


Рисунок 3 - Графики изменения вертикальных скоростей полета, полученные по информации от СНС и по прогнозу от БИНС.

Влияние интенсивности маневрирования на величину ошибки пространственного положения ЛА изображено на рисунке 5. Эксперимент проводился в следующих условиях: На начальном этапе полёта СНС и БИНС работали в режиме комплексной обработки. За время совместной обработки информации выполнялось оценивание смещение нулей акселерометров, а за тем информация от СНС отключалась от БИНС. Таким образом БИНС переходила в автономный режим счисления пути. По истечению времени автономного функционирования системы определялась ошибка $e(t)=L_{СНС} - L_{БИНС}$, $t \in (0 - 40c.)$, а затем опять включалась крмплексная обработка. Такие режимы функционирования повторялись как для различных скоростей полёта, так и различной интенсивности виражей.

Из представленных результатов исследования следует, что, в0-первых, алгоритм счисления пути работоспособен, сходимость алгоритма существенно выше скорости изменения местоположения ЛА, так, например, погрешность счисления пути после включения комплексной обработки обнуляется за единицы секунд. Качество прогноза зависит от интенсивности совершаемого маневра и чем меньше радиус разворота, тем больше величина ошибки.

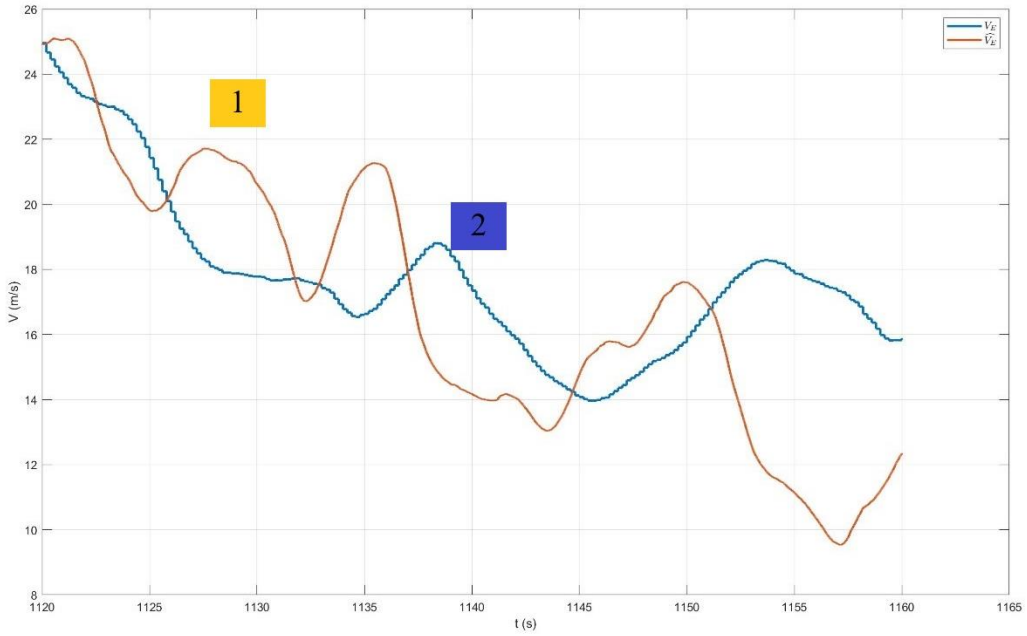


Рисунок 4 - Графики изменения горизонтальных скоростей: 1- по информации от СНС, 2- по информации БИНС.

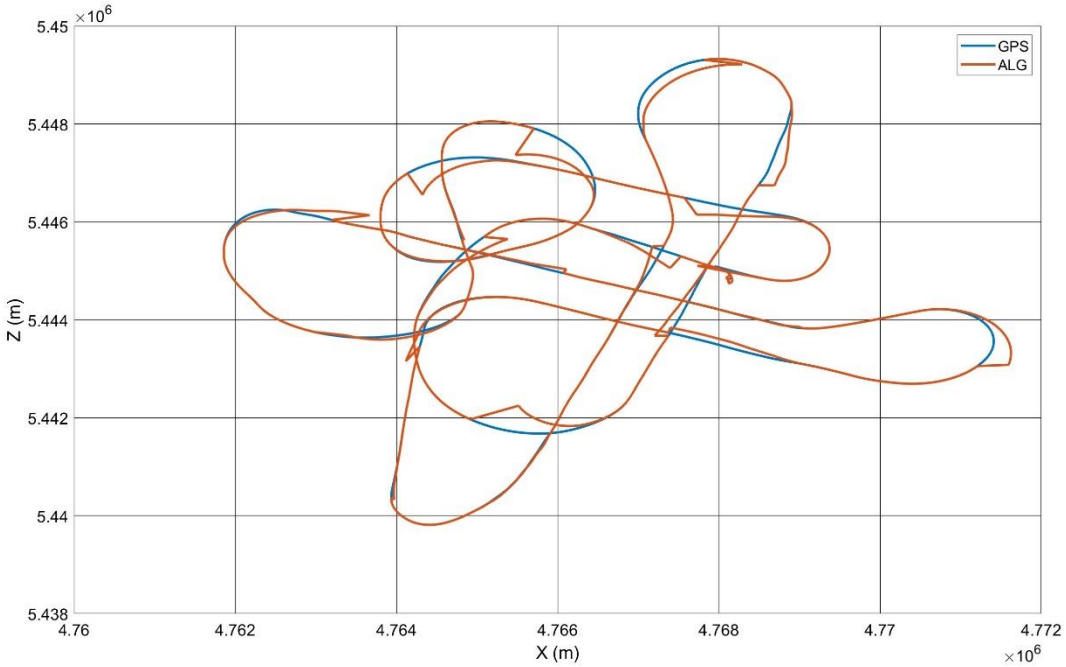


Рисунок 5 - Оценки местоположения Ла от СНС и от БИНС, работающем в автономном режиме.

Это обусловлено в значительной степени погрешностями вычисления углового положения и, прежде всего, угла курса ЛА из-за не учёта ухода гироскопа в азимуте.

Вывод

Анализ теоретико-прикладных исследований показывает, что построение систем автономной навигации на основе микромеханических датчиков угловых скоростей и акселерометров принципиально возможен. Это справедливо при условии предварительного списания постоянных ошибок датчиков информации.

Точность определения пространственно-временной траектории движения ЛА зависит от интенсивности маневрирования и от времени прогноза. Величина ошибки в режиме прямолинейного полета не превышает (6÷10)м. за время полета, равного 40с. При углах разворота с креном $\gamma \approx 60°$ ошибки достигают (200-280)м. за это же время прогноза.

Повышение точности автономного полета возможно за счет снижения ошибок определения углового положения ЛА и прежде всего угла курса.

Литература

1. Бюшгенс Г.С., Студнев Р.В. Динамика самолета. Пространственное движение. – М.: Машиностроение, 1983. 320с.

2. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах. – М.: Машиностроение. 1991. 512с.

3. Андреев В.Д. Теория инерциальной навигации. Корректируемые системы. М.: Наука, 677с.

4. Kalmana R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems // Trans. ASME. J. Basic Engineering. 1960. Vol. 82 D. March. P. 95-108.

5. Боднер В.А. Приборы первичной обработки информации. М.: Машиностроение. 1981. 344с.

6. Кочетков Ю.А. Основы автоматики авиационного оборудования. М.: ВВИА им. Проф. Н.Е. Жуковского, 1995. 575 с.

КОНСТРУКЦИЯ ВСТРАИВАЕМОГО ОПТОВОЛОКОННОГО КОММУТАТОРА НА ОСНОВЕ МЭМС

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

Рассмотрена технология оптической коммутации на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) и особенности её применения для сетевых приложений. Описан принцип коммутации маршрутов с помощью оптического переключателя посредством микрозеркал. На основе технических требований к коммутатору, исходных структурной и принципиальной электрической схем и перечня элементной базы предложено конструктивное решение для печатного узла коммутатора. Представлены трёхмерные изображения конструкции. Проведено тепловое исследование печатного узла в процессе функционирования. Выработаны рекомендации для обеспечения теплового режима.

Ключевые слова: микроэлектромеханическая система, оптическая коммутация, телекоммуникации, печатный узел, тепловое моделирование, конструкторское проектирование.

Design of a miniature mems-based fiber-optic switch. Aminev D.A., Bunina L.V., Ivanets M.S., Korotkikh A.V., MIREA – Russian Technological University.

The technology of optical switching based on microelectromechanical systems (MEMS) and the features of its application for network applications are considered. The principle of switching routes using an optical switch using micromirrors is described. Based on the technical requirements for the switch, the original structural and circuit diagrams and the list of components, a design solution for the printed circuit assembly of the switch is proposed. Three-dimensional images of the structure are presented. A thermal study of the printed circuit assembly was carried out during operation. Recommendations have been developed to ensure thermal conditions.

Key words: microelectromechanical system, optical switching, telecommunications, printed circuit board, thermal modeling, design.

Введение

Технология МЭМС оптической коммутации для базовых сетевых приложений способна интегрировать расширенные сетевые функции. В волоконно-оптических сетях на микронном уровне переключатели на основе МЭМС направляют свет от одного волокна к другому. Такой подход позволяет

создать полностью основанную на свете сеть передачи данных, поскольку коммутация не требует преобразования световых сигналов в цифровые электронные, а затем обратно в оптические [1-3].

Микрозеркала являются основными микромеханическими компонентами оптических кроссовых переключателей световых частот с одного набора волокон на другой. Это устройство включает порт ввода/вывода, привод и зеркальную поверхность. Когда на исполнительный механизм подается напряжение, он заставляет зеркало перенаправлять свет на определенный выходной порт. Затем зеркало остается статичным до тех пор, пока не потребуется перенаправить путь света [4].

Оптический коммутатор в основном используемое в оптической связи и может разветвлять определенный оптический сигнал или переключать пункты назначения, не преобразуя его в электрический. В оптическом коммутаторе M x N число входных портов M, а число выходных портов N, наименьшая конфигурация 1 x 2 коммутирующих порта.

В оптических коммутаторах (переключателях) МЭМС используются микрозеркала, изготовленные путем микрообработки, а для переключения оптического пути зеркало, призма или оптическое волокно перемещаются с помощью привода. На рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** п оказан метод переключения путем параллельного перемещения призмы. Можно переключаться между выходным портом 1 и выходным портом 2, сдвинув призму. Существует также метод перемещения оптического волокна вместо перемещения призмы. Принцип коммутации маршрутов прост: излучаемый оптическим волокном свет распараллеливается с помощью линзы, далее поток отражается двумя зеркалами MEMS, которые могут изменять угол, и поступает на выход [4, 5].

В настоящее время существует множество различных исполнений оптоволоконных коммутаторов, среди которых имеются стандартные с расширенным функционалом, миниатюрные, также коммутаторы отличаются по типу используемой коммутирующей матрицы: двумерные и трехмерные МЭМС-переключатели. Все вышеперечисленные исполнения существуют в виде как одномодовых, так и многомодовых вариантах. Основными производителями МЭМС-коммутаторов в виде компонентов, печатных узлов, корпусированных модулей являются следующие зарубежные компании [6-8]: DiCon Fiberoptics (США), Agiltron (США), Sercalo (Швейцария), Thorlabs (США).

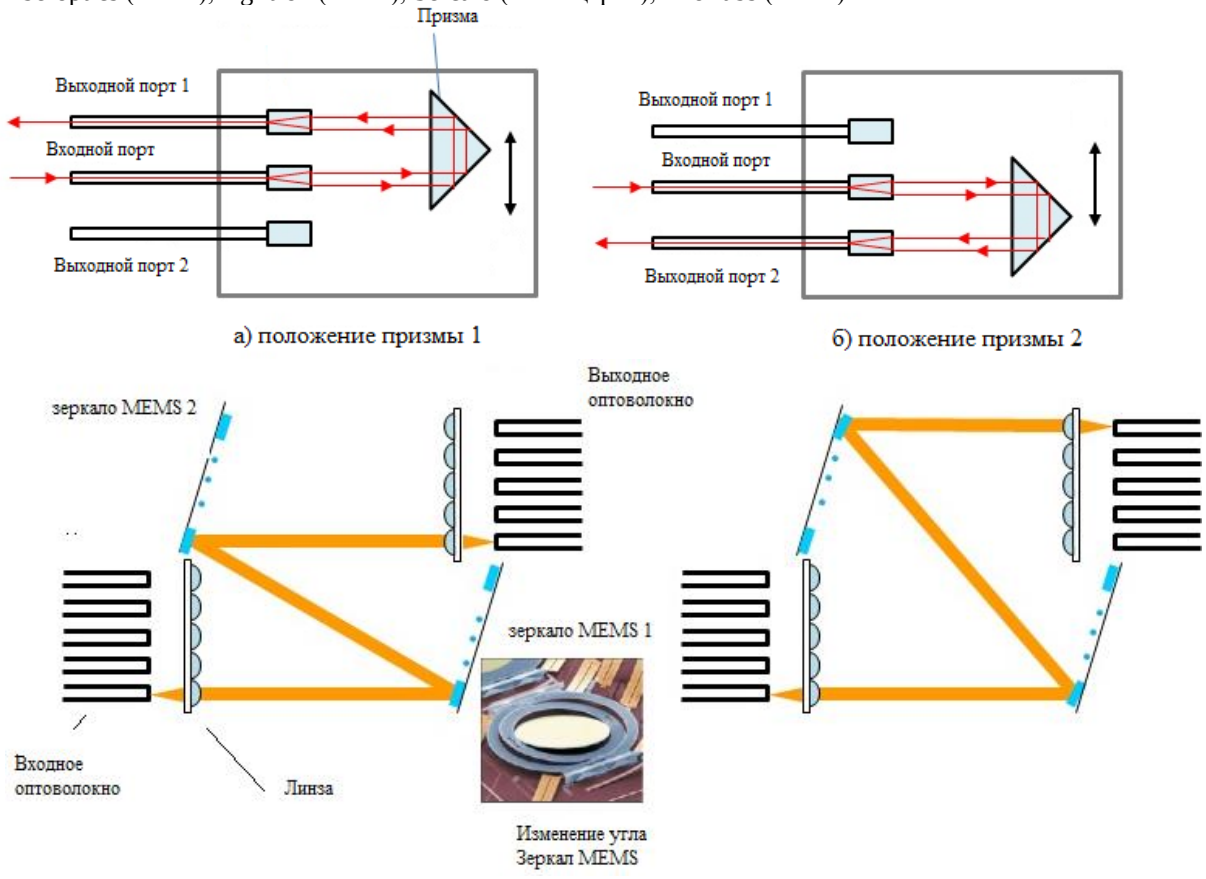


Рисунок 1 – Структура (а, б) и принцип коммутации маршрутов (в) переключателя МЭМС.

Наиболее универсальной конструкцией встраиваемого оптоволоконного коммутатора на основе МЭМС является печатный узел, поскольку он представляет собой функционально завершенное

устройство. Поэтому задача сводится к разработке и проектированию конструкции печатного узла и проведение исследований его работоспособности в условиях эксплуатации.

Технические требования и исходные данные для создания конструкции коммутатора

Общие технические требования:

– назначение устройства – микроконтроллерное управление коммутацией оптоволоконных каналов;

– электрические характеристики: напряжение питания платы 5 В, потребляемый ток не более 200 мА, авторазрыв всех соединений по отключению питания;

– устройство должно быть реализовано на доступной элементной базе;

– должна быть реализована связь встроенного микроконтроллера с компьютером по стандартным интерфейсам и с оптическим модулем по протоколу обмена;

– размеры печатной платы не более: 55 х 20 мм, масса устройства: не более 0.2 кг.

Требование к условиям эксплуатации. Проектируемое устройство относится к группе С1 по ГОСТ 16019 (Стационарная аппаратура, устанавливаемая в отапливаемых наземных и подземных сооружениях). Для данной группы нормируются:

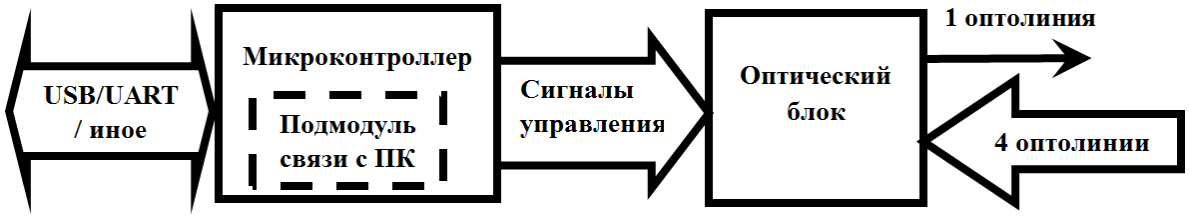
– диапазон частот синусоидальных колебаний: 10-70 Гц;

– амплитуда ускорения синусоидальных колебаний не более 19,6 м/с2 (2g);

– предельные температуры при эксплуатации и транспортировке.

Технологические требования: автоматизированный монтаж элементов схемы на печатную плату, с сохранением возможности выполнять ремонтные операции (замену вышедших из строя элементов) ручным способом или поверхностный монтаж электро-радиоэлементов (за исключением оптического модуля и мощных элементов).

С учётом предъявляемых к устройству требований предложен следующий вариант функциональной и электрической принципиальной схем устройства (рис. 2а,в). Основными элементами схемы являются микроконтроллер и оптический модуль. Микроконтроллер DD1 принимает входные данные, обрабатывает их и передает сигналы управляемому блоку МЭМС оптоволоконной коммутации S1. В качестве DD1 выбран микроконтроллер семейства STM32F1, а его «обвязка», включающая фильтры по питанию от 5 В на С1, С2, С3, сделана в соответствии со спецификацией. Кварцевый резонатор ZQ1 синхронизирует тактовую частоту DD1. Внешний вид и назначение контактов оптического блока оптоволоконной коммутации S1 представлены на рисунке 2б [7]. Через разъемы X1-X2 осуществляется подключение и управление от компьютера, а разъём USB-C (XS1) служит для первичной прошивки DD1. В табл. 1 приведен перечень элементов функциональной и электрической принципиальной схем.

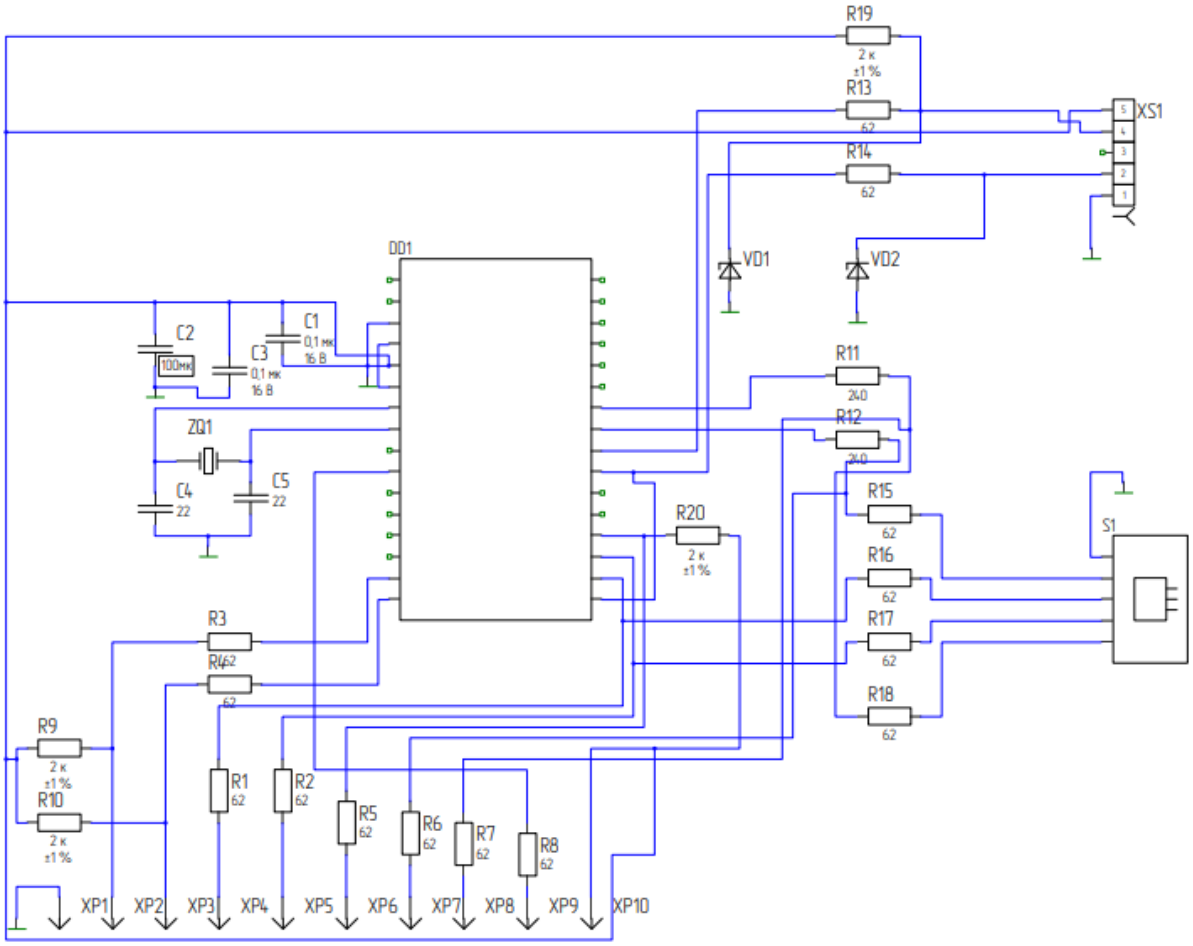


а)



№ контакта	Описание
1	Ось X-
2	Ось Y-
3	Ось X+
4	Ось Y+
5	Общий

б)



в)

Рисунок 2 – Функциональная схема устройства (а), внешний вид и назначение контактов оптического блока (б) и электрическая принципиальная схема оптоволоконного коммутатора (в)

Таблица 1 – Перечень элементов

Компонент (производитель)	Обозн. на схеме	Кол-во
Диоды КС407А 3.3В, 5% (Россия)	VD1, VD2	2
Кварцевый резонатор 12.800 МГц HC-49U (Россия)	ZQ1	1
Конденсаторы C1005X7R1C104K050BC 100 нФ (Япония), ECAP (K50-35) (Тайвань) 100мкФ, GRM1555C1H220JZ01D 22 пФ (Murata Electronics)	C1, C3	2
	C2	1
	C4, C5	2
Микросхемы ATMega81 (Microchip Technology)	DD1	1
Резисторы R_0805 62 Ом ±5 %, R_0805 240 Ом ±5 %, (Bourns) CRCW04022K00FKED 2 кОм ±1 % (Vishay)	R1-R8, R13-R18	14
	R11, R12	2
	R9, R10, R19, R20	4
Разъемы PLD-10 (DS1021-2x5) (Китай)	X1-X2	2
Гнездо micro USB Тип B (Китай)	XS1	1
Устройство коммутационное bcSC 1xN (Sercalo)	S1	1

Конструкция и тепловое исследование печатного узла коммутатора

По исходной принципиальной электрической схеме устройства и спецификациям на компоненты из перечня элементной базы в программе Altium Designer 20.1.1 проведена трассировка печатной платы устройства. В процессе проектирования получилась двухсторонняя печатная плата размером 19,5 х 53,6 мм. В качестве материала выбран текстолит FR-4 толщиной 1,5 мм с металлизированными сквозными отверстиями предусматривает монтаж элементов с обеих сторон. К нижней части подсоединен разъем USB, разъем типа PLD-10 (DS1021-2x5), микроконтроллер, электролитический конденсатор, а к верхней – оптический модуль, резисторы и стабилитроны. На плату нанесена защитная маска, причём контактные площадки остаются без покрытия. Верхний и нижний проводящие слои печатной платы, эскиз с размерами и изображение в изометрии печатного узла коммутатора представлены на рис. 3.

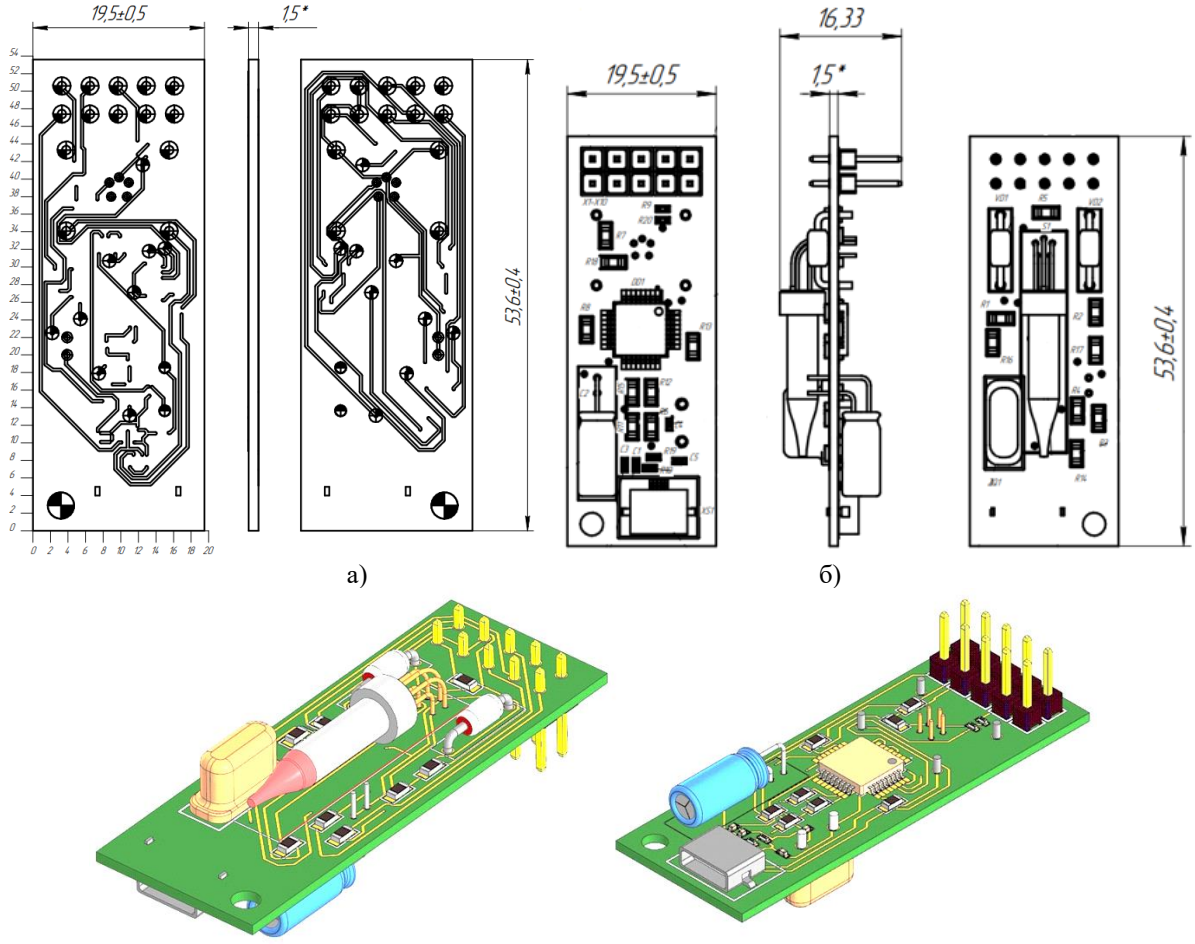
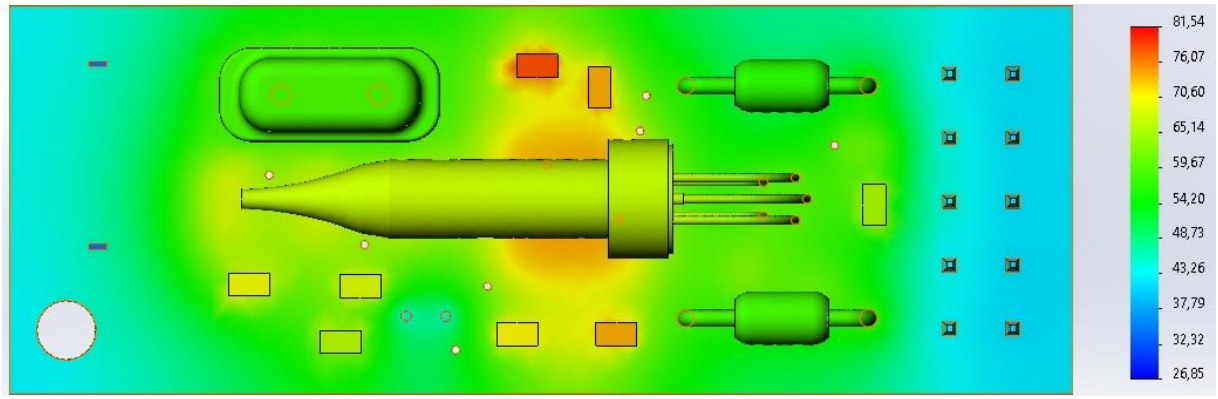


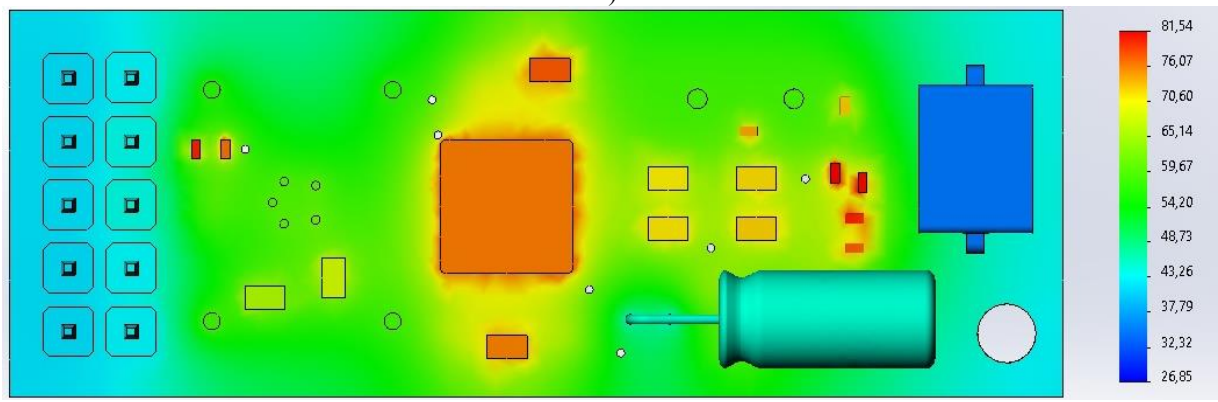
Рисунок 3 – Топология печатной платы (а), эскиз печатного узла (б) и изображение в изометрии (в) печатного узла оптоволоконного коммутатора МЭМС

Тепловое исследование печатного узла оптоволоконного МЭМС коммутатора проводится в САПР «SolidWorks» с использованием дополнительного модуля «Flow simulation». Моделирование теплового режима устройства проведено при температуре окружающей среды +26°С и максимальных значения рассеяния тепловой мощности элементов. На рис. 4 приведены результаты исследования обеих сторон печатного узла, на которых явно видны зоны нагрева (шкала градиента температуры справа в °С).

Как показало исследование, нагрев печатного узла осуществляется неравномерно. Большему нагреву подвержен кластер резисторов R10 и R19. Максимальная температура поверхности платы под резисторами составляет +76,07°С. Предельная рабочая температура R10 и R19 составляет +155°С. Следовательно, перегрева резисторов не происходит, и они сохраняют свою работоспособность. Кроме резисторов нагреву подвержена область под микросхемой DD1, максимальная рабочая температура которой составляет +85°С. От DD1 тепловой шлейф распространяется равномерно. Температура возвращается к исходным значениям в области разъемов X1-X10. Нагрев оптоволоконного МЭМС модуля не превышает +66°С, что меньше максимально допустимой температуры +70°С, следовательно, перегрева устройства не происходит, и оно сохраняет свою работоспособность.



а)



б)

Рисунок 4 – Результат теплового моделирования верхнего (а) и нижнего (б) слоя печатного узла

Заключение

Современная проводная связь тяготеет к применению оптоволоконных каналов, как на магистральных линиях, так и в межсерверных сетевых соединениях. Разработанный встраиваемый коммутатор позволяет реализовывать схемы коммутации 1xN, а также Nx1.

По заданным требованиям и разработанным функциональной, электрической принципиальной схемам устройства спроектирована конструкция печатного узла коммутатора на основе двухсторонней печатной платы размерами 19,5x53,6мм из фольгированного текстолита FR-4 толщиной 1,5 мм.

Проведенное моделирование теплового режима работы показало, что нагрев компонентов электрической схемы не превышает установленных производителем значений, все элементы сохраняют свою работоспособность при эксплуатации в условиях максимально допустимой температуры. Однако рекомендуется учесть ряд моментов по результатам теплового моделирования:

– нагревающиеся резисторы форм-факторов 0805 заменить на 1206 или 1210, поскольку пространство платы это вполне позволяет, или, скорректировать цепи питания в электрической схеме;

– при тепловом моделировании следует учесть размещение печатного узла в компактном корпусе.

Литература

1. Y. Lin, E. L. Goldstein, and R. W. Tkach, “Free-space microma-chined optical switches for optical networking,” IEEE J. Select. Topics Quantum Electron., vol. 5, Jan./Feb. 1999. pp. 4-9.

2. T.L W. Yeow, K. L. E. Law, and A. A. Goldenberg, “Micromachined -switching matrix” in Proc. IEEE ICC2002, vol. 5, 2002, pp.2848-2854.

3. T. W. Yeow, K. L. E. Law, and A. A. Goldenberg, “MEMS optical switches,” IEEE Commun. Mag., vol. 39, no. 11, Nov. 2001, pp. 158–163.

4. A. V. Aksyuk, F. Pardo, C. A. Bolle, S. Arney, C. R. Giles, and D. J. Bishop, “Lucent microstar micromirror array technology for large optical crossconnects” in Proc. SPIE, vol. 4178, 2000, pp. 320–324.

5. S. S. Lee, L. S. Huang, C. J. Kim, and M. C. Wu, “Free-space fiber-optic switches based on MEMS vertical torsion mirrors” J. Lightwave Technol., vol. 17, Jan. 1999, pp. 7-13.

6. https://agiltron.com/product/mems-mini-4x4-fiber-optical-switch/ (дата последнего доступа 15.09.2023)

7. www.sercalo.com – коммутаторы SC и mSC 1xN (дата последнего доступа 15.09.2023)

8. https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=OSW12-488-SM (дата последнего доступа 15.09.2023).

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВЫЗОВА ЭКСТРЕННЫХ СЛУЖБ ДЛЯ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Никитин В. В.
ФИКОМ-ИТ, Москва, Россия
nvv@ficom-it.ru

Аннотация - Цель статьи исследует существующие проблемы, связанные с обеспечением безопасности двухколесных транспортных средств на дорогах общего пользования. Рассмотрены разнообразные аспекты, начиная с анализа статистики дорожно-транспортных происшествий с участием двухколесных транспортных средств, особенностям движения и поведения на дороге и заканчивая технологическими решениями и рекомендациями по совершенствованию системы экстренного вызова для возможности реагирования на дорожно-транспортные происшествия с участием двухколесных транспортных средств.

Ключевые слова: ЭРА-ГЛОНАСС, двухколесные транспортные средства, мотоциклы, скутеры, экстренный вызов, дорожно-транспортное происшествие, безопасность.

Features of organizing a system for calling emergency services for two-wheeled vehicles. Nikitin V.V., FICOM-IT, Moscow, Russia

Abstract - The purpose of the article is to explore the existing problems associated with ensuring the safety of two-wheeled vehicles on public roads. Various aspects are considered, from the analysis of statistics of road accidents involving two-wheeled vehicles, the characteristics of movement and behavior on the road, to technological solutions and recommendations for improving the emergency call system to be able to respond to road accidents involving two-wheeled vehicles.

Keywords: ERA-GLONASS, two-wheeled vehicles, motorcycles, scooters, emergency call, traffic accident, safety.

В настоящее время, двухколесные транспортные средства (ТС) получают все большее распространение, что в свою очередь влияет на количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с их участием. В 2022 году с участием мотоциклов произошло 6 346 ДТП, что составляет 5% от общего количества происшествий, в них погибли 636 и ранены 6 809 человек. То есть погиб каждый 11 пострадавший.

Наиболее распространенным видом ДТП с участием мотоциклов является столкновение. На них приходится более половины от общего количества происшествий (61,6%, или 3 911) и общего числа погибших (52,7%, или 335). Вторым по массовости видом ДТП с участием мотоциклов является опрокидывание (13,8%, или 874 ДТП). В силу низкого уровня пассивной безопасности мотоциклов по сравнению с другими ТС высокими значениями тяжести последствий характеризуются наезд на стоящее ТС (13,4%), съезд с дороги (16,7%), наезд на препятствие (19,5%), наезд на животное (8,8%)

Основная часть ДТП с участием мотоциклов зафиксирована в населенных пунктах (НП) (83,3%, или 5 288), на них приходится более двух третей (70,1 % или 446) погибших. Вне НП произошло 16,7% (1 058) ДТП, однако доля погибших значительно больше и составляет 29,9 % (190). Тяжесть последствий ДТП вне НП (14,8) в два раза выше, чем в НП (7,2).

Наиболее распространенными нарушениями правил дорожного движения, допускаемыми водителями мотоциклов, являются несоблюдение скоростного режима движения (41,6% ДТП), нарушение правил расположения ТС на проезжей части (21,7%), неправильный выбор дистанции (11,2%), несоблюдение очередности проезда (8,1%), выезд на полосу встречного движения (13,3%). ДТП, произошедшие из-за выезда на полосу встречного движения, характеризуются высокой тяжестью последствий, в них погиб каждый шестой пострадавший.

Учитывая высокие показатели тяжелых последствий аварий двухколесных ТС, необходимо обеспечить как можно быстрое реагирование экстренных и оперативных служб на каждое ДТП.

В мире существует три системы реагирования на ДТП. В США действует «Enhanced 911» (система автоматического предоставления местоположения вызывающего абонента службам экстренного реагирования 911). На территории Евросоюза система называется «eCall» (Европейская система автоматического оповещения о дорожных происшествиях на автотранспорте). На территории Российской Федерации с 2017 года развернута активно применяется система экстренного реагирования на аварии «ЭРА-ГЛОНАСС». В настоящее время она сертифицирована и применяется только для автомобильного транспорта. Принцип работы системы изображен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Принцип работы системы ЭРА-ГЛОНАСС

Основные элементы системы «ЭРА-ГЛОНАСС» включают такие элементы:

1. Аварийный вызов (экстренный вызов): Система в автоматическом и ручном режиме передавала информацию о местоположении и тяжести последствий ДТП, а так же обеспечивала голосовой диалог с оператором по громкой связи.
2. Мониторинг и регистрация ДТП: "ЭРА-ГЛОНАСС" также позволяет регистрировать и мониторить ДТП, что способствует более эффективному управлению дорожным движением и снижению времени реагирования на происшествия.
3. Интерфейс оператора экстренных служб: Система обеспечивала интерфейс для экстренных служб, который позволял им получать информацию о происшествии, местоположении и других сведениях, необходимых для оперативного реагирования.
4. Использование ГЛОНАСС и GPS: для точного определения местоположения система «ЭРА-ГЛОНАСС» использовала данные из российской спутниковой системы ГЛОНАСС в приоритетном режиме и американской системы GPS как запасной.
5. Обязательное оборудование: на определенных категориях транспортных средств, таких как автомобили, необходимо установить обязательное оборудование, сертифицированное для работы с системой «ЭРА-ГЛОНАСС».

Современные системы связи и спутниковой навигации являются важнейшим компонентом в организации системы вызова экстренных служб. Они обеспечивают более быстрое и эффективное реагирование на чрезвычайные ситуации и улучшают безопасность участников дорожного движения.

Система «ЭРА-ГЛОНАСС» представляет собой важный шаг в направлении обеспечения безопасности дорожного движения и экстренной помощи на дорогах России, но, как и любая другая сложная технологическая система, она также имеет свои проблемы и недостатки, которым подвержены так же и зарубежные системы. Некоторые из них:

- недоступность в некоторых регионах: одной из главных проблем является недоступность системы «ЭРА-ГЛОНАСС» в некоторых удаленных или малонаселенных регионах России, где инфраструктура и связь могут быть менее развитыми.
- Ложные срабатывания: иногда система может давать ложные срабатывания, например, в случаях, неправильной установки оборудования или неквалифицированного вмешательства, что может вызвать ненужные вызовы экстренных служб.
- Обязательное оборудование: обязательное наличие оборудования увеличивает стоимость автомобилей.
- Требования к обновлению: хотя в системе «ЭРА-ГЛОНАСС» предусмотрено дистанционное обновление программного обеспечения, технические стандарты и требования могут меняться со временем, и это может потребовать обновления оборудования на автомобилях, что может быть дорого и неудобно для владельцев.
- Возможные технические сбои: как и любая технологическая система, «ЭРА-ГЛОНАСС» подвержена возможным техническим сбоям, что влияет на ее надежность.

Двухколесные транспортные средства (двухколесные ТС) представляют собой разнообразный класс моторизованных средств передвижения, которые поддерживаются двумя колесами. Эти средства

имеют множество различных типов и характеристик, что делает их популярными средствами передвижения в городах и за их пределами. Существует два наиболее распространенных, и наиболее часто попадающие в тяжелые и средней тяжести ДТП типа двухколесных ТС:

1. Мотоциклы:

- Могут быть разделены на разные категории в зависимости от их назначения, включая спортивные мотоциклы, круизеры, эндуро, туринг и другие.
- Мотоциклы могут иметь разную мощность двигателя, начиная от небольших с малой мощностью до мощных спортивных мотоциклов.

2. Скутеры:

- Скутеры обычно имеют маломощные двигатели и автоматическую трансмиссию. Они легки в управлении и часто используются для городских поездок.

Особенности поведения на дороге двухколесных транспортных средств (ТС), а также уязвимость мотоциклистов, и водителей скутеров, являются важными аспектами безопасности на дорогах. Вот некоторые из них:

Особенности поведения на дороге двухколесных ТС:

1. Маневренность: Двухколесные ТС, но более маневренны и могут легче двигаться между автомобилями. Они могут выполнять быстрые обгон и изменения полосы движения.
2. Ускорение и скорость: Мотоциклы могут иметь быстрый набор скорости и высокую скорость, что позволяет им быстро разгоняться и двигаться среди автомобилей.
3. Маленький профиль: Двухколесные ТС имеют меньший профиль, что может делать их менее заметными для водителей автомобилей, особенно при изменении полосы движения или при вождении в слепых зонах.
4. Маневры на поворотах: Мотоциклы могут выполнять острые маневры на поворотах, что требует осторожности со стороны других участников движения.

Риски и уязвимость участников движения:

1. Отсутствие защиты: Участники движения на двухколесных ТС не имеют кузова или каркаса, который бы защищал их от столкновений. Это делает их особенно уязвимыми в случае ДТП.
2. Удержание баланса: Управление двухколесными ТС требует хорошего равновесия и умения удерживать баланс, особенно на низких скоростях.
3. Меньшая видимость: Двухколесные ТС могут быть менее заметными для водителей автомобилей, особенно в условиях недостаточной освещенности или плохой видимости.
4. Риски скольжения: Двухколесные ТС более чувствительны к плохим покрытиям дорог, мокрым или скользким поверхностям.
5. Нет пассивной безопасности: в отличие от автомобилей, у двухколесных ТС нет подушек безопасности и других пассивных систем защиты.
6. Риски для головы и шеи: Водители и пассажиры Двухколесные ТС носят шлемы, но могут быть особенно уязвимыми для травм головы и шеи при ДТП.

Из-за этих особенностей двухколесных ТС и их уязвимости важно, чтобы все участники дорожного движения соблюдали правила и были внимательными к другим участникам. Водители автомобилей должны учитывать наличие двухколесных ТС на дороге и уступать им дорогу, соблюдая безопасное расстояние и избегая рискованных маневров. Участники движения на двухколесных ТС также должны соблюдать правила дорожного движения, носить защитное снаряжение и быть особенно внимательными на дороге.

В мире существует несколько систем экстренного реагирования на аварии для двухколесных ТС. Одна из самых распространенных фирменная система производства компании BMW, которая устанавливается в виде опции на мотоциклах одноименной марки, особенно современных моделях. Данная интегрированная система вызова экстренных служб, известна как «BMW Motorrad SOS Call». Эта система предоставляет водителям мотоциклов возможность вызвать экстренные службы в случае несчастного случая или другой чрезвычайной ситуации. Основные характеристики этой системы:

- автоматическое обнаружение аварии: Система «BMW Motorrad SOS Call» на мотоциклах BMW оборудована датчиками, которые могут автоматически обнаруживать аварийные ситуации, такие как столкновения. Если происходит авария, система запускает вызов экстренных служб.
- Ручное вызывание помощи: помимо автоматического вызова, водитель мотоцикла может вручную вызвать экстренные службы, нажав соответствующую кнопку на мотоцикле или через смартфонное приложение, если таковое имеется.
- Передача информации о местоположении: Система передает информацию о местоположении мотоцикла экстренным службам с использованием GPS. Это позволяет спасателям быстро найти место происшествия.

- Связь с оператором экстренных служб: после вызова экстренных служб система устанавливает связь с оператором, который может уточнить ситуацию и организовать помощь.
- Информирование о состоянии водителя: В случае аварии система может передавать информацию о состоянии водителя, такую как пульс и дыхание, чтобы экстренные службы могли оценить тяжесть ситуации.

Система «BMW Motorrad SOS Call» на мотоциклах BMW предназначена для улучшения безопасности водителей и пассажиров мотоциклов, обеспечивая быстрый доступ к медицинской помощи и другим экстренным службам в случае несчастного случая. Она представляет собой важный шаг в направлении повышения безопасности на дороге для мотоциклистов.

Из описания системы видно, что она функционально повторяет систему экстренного реагирования при авариях для автомобилей. Рассмотрим российскую систему «ЭРА-ГЛОНАСС». Ее функционирование регламентировано несколькими ГОСТ. Основной стандарт, регламентирующий устройство, устанавливаемое на ТС, является ГОСТ 33464—2015 (Устройство / система вызова экстренных оперативных служб. Общие технические требования.) Данный стандарт распространяется на устройство и систему вызова экстренных оперативных служб, предназначенные для установки на колесные транспортные средства категорий M и N (автомобили) в соответствии с требованиями, установленными в техническом регламенте.

Для использования системы «ЭРА-ГЛОНАСС» для вызова экстренных и оперативных служб при авариях двухколесных ТС необходимо пересмотреть следующие положения ГОСТ 33464—2015 касающиеся:

1. Требования к эргономике: должен обеспечивать взаимодействие с водителем в перчатках (мотоциклетных крагах). Индикаторы должны быть видны через мотоциклетные очки или стекло шлема.
2. Требования к качеству громкоговорящей связи: в отличие от автомобиля, у двухколесного ТС нет закрытой кабины, при разговоре будут присутствовать различные шумы. Так же на голове водителя присутствует шлем и в условиях ДТП он может находиться на некотором расстоянии от микрофона и динамика блока интерфейса пользователя.
3. Требования по стойкости к воздействию условий эксплуатации: требования к атмосферным воздействиям, так как в отличие от автомобиля нет сухой отапливаемой (кондиционируемой) кабины для размещения устройства вызова экстренных служб.
4. Пересмотреть значения индекса возможного ущерба (тяжести ДТП): Индекс возможного ущерба ASI_{15} рассчитывается с использованием следующих соотношений:

$$ASI_{15} = \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} ASI(t)dt \right\}_{max} \qquad (1)$$

$$ASI(t) = \sqrt{\left(\frac{\bar{a}_x}{\hat{\bar{a}}_x}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y}{\hat{\bar{a}}_y}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z}{\hat{\bar{a}}_z}\right)^2} \qquad (2)$$

$$\bar{a}_x(t) = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_x dt \qquad (3)$$

$$\bar{a}_y(t) = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_y dt \qquad (4)$$

$$\bar{a}_z(t) = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_z dt \qquad (5)$$

где (t2 – t1) — интервал записи параметров для оценки индекса возможного ущерба, принимаемый равным 15 мс;

ASI(t) — текущее значение индекса возможного ущерба;

a_x, a_y, a_z — компоненты ускорения рассматриваемой точки транспортного средства в месте крепления датчика ускорения по направлениям основных осей транспортного средства (продольной — x, поперечной — y, вертикальной — z);

$\bar{a}_x$, $\bar{a}_y$, $\bar{a}_z$— компоненты ускорения рассматриваемой точки транспортного средства в месте крепления датчика ускорения по направлениям основных осей транспортного средства, усредненные на промежутке интервала времени δ = 50 мс;

$\hat{a}_x$, $\hat{a}_y$, $\hat{a}_z$ — предельные значения соответствуют уровню, ниже которого риск для человека незначительный. При использовании ремней безопасности предельные значения ускорений обычно принимают равными $\hat{a}_x$ = 12 g; $\hat{a}_y$ = 9 g; $\hat{a}_z$ = 10 g.

Устанавливаются следующие критерии автоматического срабатывания УСВ в зависимости от степени тяжести аварии по причинению возможного ущерба жизни и здоровью людей, находящихся в кабине транспортного средства, при лобовом и боковом столкновениях ТС:

ASI_{15} < 0,7 — устройство экстренного вызова не должна срабатывать по причине низкой вероятности причинения ущерба жизни и здоровью людей, находящихся в кабине транспортного средства, в результате ДТП;

0,7 ≤ ASI_{15} ≤ 1,4 — диапазон значений ASI_{15} автоматического срабатывания устройства экстренного вызова, при которых существует вероятность причинения ущерба жизни и здоровью людей средней тяжести;

ASI_{15} > 1,4 — значения ASI_{15}, при которых существует вероятность причинения тяжелого вреда жизни и здоровью людей, находящихся в кабине транспортного средства, в результате ДТП.

Очевидно, что предельные значения ускорений и критерии возможного ущерба ASI_{15} не соответствуют характеристикам двухколесных ТС так как в них отсутствуют зоны деформации (смягчения удара при ДТП) и водитель как правило напрямую сталкивается с препятствием (другим участником) ДТП.

Литература

1. Bogliolo A. Intelligent Transportation Systems for Two-Wheeled Vehicles: An Overview, 2015
2. Ferrazzani M. An Overview of Motorcycle Safety, 2019
3. Ma R. Emergency Response Systems for Motorcycles and Scooters, /K. S. Trivedi, 2012
4. Алексеев Д. А. Исследование и разработка системы экстренной связи для владельцев мотоциклов, 2019.
5. Глухов В. Г. Системы обеспечения безопасности двухколесных транспортных средств и их эффективность, /Москаленко А. С., 2018.
6. Григорьев С. П. Технологии обеспечения безопасности двухколесных транспортных средств, /Шевцов В. М., 2021
7. Мищенко М. С. Организация и анализ системы вызова экстренных служб для мотоциклистов, 2020.
8. Новиков Д. А Системы связи и безопасности для двухколесных ТС, /Лебедев А. В., 2019

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА РЛС

Барбасов Н.В., Косогов П.Ю.
НИУ Московский авиационный университет
domanchic2000@yandex.ru

Рассмотрена возможности применения автоматизированной системы обеспечения теплового режима РЛС, применение ЭРИ в части повышения скорости работы радиоэлектронных изделий. Представлено взаимодействие между функциональными узлами в автоматизированных системах управления. Изучены варианты блокировки блоков управления в РЭС. Рассмотрены способы модернизации устаревших РЛС с учетом различных мест их эксплуатации и базирования. Подходы к автоматизации радиоэлектронных систем. Показано, что такие подходы позволяют добиться более эффективной и надежной работы РЛС. Подчёркнуты технико-экономические выгоды предлагаемых решений.

Ключевые слова: системы обеспечения теплового режима; автоматизация современных РЛС; увеличение скорости работы РЛС.

Analysis of the possibility of using an automated system for providing thermal condition of radar. Barbasov N.V., Kosogov P.Yu.

The possibilities of using an automated system to ensure the thermal regime of the radar, the use of ERI in terms of increasing the speed of radio-electronic products are considered. The interaction between functional nodes in automated control systems is presented. Options for blocking control units in RES have been studied. The ways of modernization of obsolete radars are considered, taking into account various places of their operation and basing. Approaches to automation of radio-electronic systems. It is shown that such approaches make it possible to achieve more efficient and reliable radar operation. The technical and economic benefits of the proposed solutions are emphasized.

Keywords: thermal management systems; automation of modern radars; increasing the speed of radar operation.

Введение

В настоящее время информатизация и автоматизация систем управления, является одним из наиболее значимых направлений развития РЛС. При этом одной из основных проблем в решении задач эффективного управления сложных систем, является большое число функциональных узлов, эффективность работы которых ослабляется такими факторами как: эргономика, подготовленность обслуживающего персонала и скорость обработки информации системой. Повышение числа функциональных узлов необходимо не только с точки зрения обеспечения системы разнообразием функционала и увеличением числа решаемых задач, но и для обеспечения качественной работы центральных узлов РЛС, таких как - антенная аппаратура (например, ФАР), рабочие места операторов и системы обработки сигналов. При этом длительную бесперебойную работу всех функциональных узлов РЛС невозможно обеспечить без поддержания определённых характеристик внутри системы [3]: температуры и влажности [5]. В современных отечественных РЛС, находящихся в серийном производстве, существуют различные системы обеспечения теплового режима, но во всех этих системах регулирование температуры и влажности РЛС производиться оператором, что снижает эффективность работы оператора, а в последствии – эффективность работы всей РЛС. В связи с этим целесообразно рассмотреть одно из перспективных направлений развития систем управления РЛС – автоматизированную систему обеспечения теплового режима РЛС.

Автоматическая система обеспечения теплового режима – это система, применяемая для поддержания заданных климатических характеристик в заданном объекте (в данной статье - кабина оператора РЛС), посредством управления системами вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха в автоматическом режиме. Данная система представляет, прежде всего, систему управления, в которую включены приборы и устройства климатического контроля, а также такие полноценные инженерные сети, такие как отопление, охлаждение [1], вентиляция и кондиционирование.

Принцип действия регулирования теплового режима основан на сборе специальными датчиками информации о температурно-влажностных характеристиках воздуха по всей кабине, анализе данных и управлении климатической техникой. Управление отоплением осуществляется при помощи сервоприводов, установленных на отопительных приборах и контурах. Управление вентиляцией осуществляется посредством воздушных клапанов, установленных на приточном и вытяжном воздуховоде.

Элементы, входящие в автоматическую систему по регулированию микроклимата:

1) Блок управления – система, которая имеет графический интерфейс управления, позволяющая контролировать показатели среды. Таким устройством управляет оператор РЛС, учитывая то, какой должна быть температура воздуха, влажность и другие показатели. Блок управления является главным устройством, осуществляющим контроль за климатическими показателями и характеристиками воздуха, а также координирующим работу всех приборов отопления, кондиционирования, очистки и увлажнения, подачи свежего и вытяжки отработанного воздуха. Данный прибор, представлен в виде субблока с дисплеем, используемого для создания оптимально микроклимата.

2) Датчики температуры, влажности, наличия кислорода – обычно выполняются в одном корпусе. Они необходимы для передачи сведений в блок управления для принятия решения о регулировке других приборов и устройств климат контроля.

3) Система вентиляции – это механическое устройство, которое вентилирует воздух, отдавая наружу насыщенный углекислотой, а принимая внутрь обогащенный кислородом. При этом несвежий воздух с высокой температурой, который выталкивается наружу, отдает свое тепло принимаемому воздуху. Обычная форточка не только освежает воздух в кабине, но и охлаждает его, а рекуперационная установка и освежает, и передает свежий воздух уже подогретым.

4) Фотокаталитический фильтр вместе с угольными и другими фильтрами – это фильтр, который вместе с классическими угольными фильтрами разрушает вредные химические вещества. Фильтры не нуждаются в управлении, т.к. работают автономно и не требуют энергозатрат.

В перспективных РЛС отечественного производства есть все элементы перечисленные выше. Но не смотря, на это они не являются автоматизированными, т.к. анализ микроклиматических показателей и принятие решения об изменении этих показателей принимается оператором. Для автоматизации системы необходимо, чтобы блок управления сам анализировал и изменял микроклимат.

Предлагается рассмотреть блок управления, обеспечивающий термическое регулирование, применяемый в современных отечественных РЛС и проанализировать возможность его автоматизации. Рассматриваемый блок представляет из себя устройство с двумя группами функций: анализирующей и регулирующие. Первая группа принимает сигналы с различных датчиков и обрабатывая этот сигнал включает на лицевой панели соответствующий светодиод. Таким образом, происходит анализ микроклимата. Вторая группа функций – регулирующая, представляет из себя набор кнопок, которые при нажатии падают сигнал на соответствующие устройства, (например, при нажатии на кнопку нагрев включается обогрев РЛС).

Перед тем как предложить способы автоматизации рассматриваемого блока управления, стоит отметить, что у оператора должна быть возможность перевода автоматизированного блока управления в ручной режим управления. Это необходимо для того, чтобы в случае аварийной ситуации на одном из участков автоматической системы по регулированию микроклимата, была возможность эксплуатировать другие участки системы.

Для автоматизации блока управления необходимо информационно связать анализирующую и регулирующую группу функций, с возможностью их разъединить при необходимости. Эту задачу можно решить двумя способами:

1) Добавлением переключателя между анализирующей и регулирующей групп функций. Таким образом, при ручном управлении микроклиматом данные от анализирующей группы функций не будут передаваться на регулирующую группу функций, а при автономном режиме - данные будут передаваться. Преимуществами этого решения является низкая стоимость и массогабаритные характеристики системы, относительно первого решения рассматриваемой задачи. Недостатками является уменьшения надежности и срока службы системы, за счет усложнения системы управления. Такой способ решения задачи следует применять для мобильных РЛС, с требованием малых массогабаритных характеристик. В качестве примера можно привести РЛС входящие в состав зенитно-ракетных комплексов.

2) Добавлением в корпус блока управления функционального узла аналогичного первому, с тем различием, что во втором узле будет реализовано соединение анализирующей и регулирующей групп функций. Таким образом, при ручном управлении микроклиматом будет работать первый функциональный узел, а при автономном - второй. Во втором узле в элементах регулирующей группы функции по регулированию будут выполнять ЭРИ, но не средства коммутации. Преимуществами этого решения является увеличение надежности [2] и срока службы системы, из-за создания параллельного функционального узла. Недостатками является высокая стоимость и массогабаритные характеристики системы, за счет увеличения функциональных узлов. Такой способ решения задачи следует применять для стационарных РЛС, с требованием высоких характеристик надежности. В качестве примера можно привести аэродромные РЛС находящиеся в арктической среде [4]. При отсутствии требований к высокой надежности рекомендуется применять первое решение.

Каждое из предложений решений рассматриваемой задачи требует создание устройства объединения анализирующих и регулирующих групп функций (далее УО). Для каждого решения задачи будут требоваться разные УО. рассмотрим сначала УО для первого решения, а потом для второго.

УО из выше описанного материала должно состоять из средства информационной обработки сигналов, поступающих с устройств анализирующей группы функций (обработанные сигналы должны поступать на устройства регулирующей группы функций и тем самым управлять микроклиматом РЛС) и средств коммутации.

Средства информационной обработки сигналов могут быть реализованы различными способами, в зависимости от требуемого соотношения цена-точность обработки сигналов. Рассмотрим способ наиболее применимый для автоматизации систем по регулированию микроклимата в РЛС. Данный способ будет заключаться в модернизации рассматриваемого выше блока управления по регулирования микроклимата. Модернизация заключаться в следующих действиях:

1) Добавление ЭРИ, изменяющих ВАХ сигналов, включающих светодиоды, отображающих работу датчиков, до ВАХ необходимых для включения устройств, регулирующих группы функция.

2) Электрическое соединение устройств анализирующей группы функций с регулирующей группу функций, через ЭРИ, установленные в первом пункте. Важно отметить, что соединение устройств анализирующих и регулирующих групп функций должно быть разделено по назначениям. Например, устройство анализирующей функции измерения температуры (а именно контакт, через который приходить сигнал о слишком низкой температуре) должна быть соединена с устройством регулирующей функции нагрева.

3) Добавление ЭРИ ко всем кнопкам регулирующей группы функции образующих логическую функцию импликации с инверсией. Импликация сигнала регулирования будет выполняться с сигналом автоматической работы блока управления (сигнал с кнопки -> сигнал с автоматической управления блока управления). Данные логические действия необходимы для того, чтобы заблокировать управление вручную, при работе в автономном режиме, т.к. оператор по ошибке или случайно может нажать кнопку по блоке управления при автоматической работе, что может отрицательно сказаться на работоспособности всей системы.

Средства коммутации могут быть представлены переключателем с соответствующей маркировкой, между электрическим соединением с устройствами анализирующей и регулирующей групп функций. Для перехода в ручной режим регулирования микроклимата необходимо будет нажать кнопку, из которой в электрической цепи между устройствами анализирующей и регулирующей группы функций возникнет разрыв. Кнопки, заблокированные в автоматическом режиме разблокируются, и сигнал с

устройств анализирующей группы функций перестанет поступать напрямую на устройства регулирующей группы функций.

Далее рассмотрим УО для второго решения задачи объединения устройств анализирующей и регулирующей групп функций в блоке управления системой по регулированию микроклимата. Из выше сказанного, рассматриваемое решение заключается в добавление второго, автоматизированного, но аналогичного первому функциональному узлу. В состав УО, т.е. он будет состоять из средства информационной обработки сигналов и средств коммутации. Реализация составных частей УО должна быть аналогичной в обоих решениях задачи, для автоматизации производства и упрощения ремонта и модернизации.

Основными отличиями модернизации блока управления для реализации средств информационной обработки сигналов УО будет являться устранение действия направленная на блокировку кнопок в автоматическом режиме, т.к. питание будет полностью отключаться в ручном узле при автоматической работе. Остальные действия по модернизации должны быть реализованы между устройствами анализирующей и регулирующей групп функций, но только в функциональном узле автоматического режима работы. Узел ручного режима работы не измениться.

Отличие средства коммутации во втором решение задачи будет заключаться в то, что коммутация будет реализоваться между узлами ручной и автоматической работы. Для перехода в ручной режим регулирования микроклимата необходимо будет нажать кнопку, из - за которой питание для автоматического узла будет отключено, и подано на ручной. Кнопки, заблокированные в автоматическом режиме разблокируются, и сигнал с устройств анализирующей группы функций перестанет поступать напрямую на устройства регулирующей группы функций.

Заключение

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что применение автоматической системы обеспечения теплового режима является возможным. Применение такое системы повысит эффективность работы РЛС и снизит количество сбоев во время работы.

Литература

1. Басов А.А., Окорокова К.С., Ставрицкий А.К. « Системы обеспечения теплового режима разгонных блоков типа ДМ ракет космического назначения «Космическая техника и технологии» No 3(14)/2016 - 9с.
2. Клочкова Д.В., Сидняев Н.И. Основные факторы эксплуатационной надежности мощных передающих установок. Инженерный журнал: наука и Инновации, 2013, вып. 12 – 19с.
3. 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.
4. Пищин, О. Н. Исследование возможностей современных радиолокационных станций / О. Н. Пищин, М. М. Кабделова. Молодой ученый. — 2022. — № 1 (396). — 6с.
5. Постановление 1823-78 Санитарные нормы и правила размещения радио-, телевизионных и радиолокационных станций

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОРЬБЫ С МАЛЫМИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ ПРОТИВОДЕЙСТВИЕМ СРЕДСТВАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Барбасов Н.В.
ПАО «НПО Алмаз», Москва, Россия.
bapbacob@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены возможные средства борьбы с малыми беспилотными летательными аппаратами, представлена эффективность каждого из рассматриваемых средств. Изучены варианты уничтожения беспилотных летательных аппаратов. Перспективные подходы к противодействию БПЛА. Показано, что такие подходы позволяют добиться более эффективной защиты от малых беспилотных летательных аппаратов. Подчёркнуты технико-экономические выгоды предлагаемых решений.

Ключевые слова**:** беспилотный летательный аппарат (БПЛА), средства борьбы с БПЛА, спутниковая система навигации, радиоэлектронная борьба, вооружения и военная техника (ВВТ), малые БПЛА.

Analysis of the effectiveness of combating small unmanned aircraft vehicles by countering means of electromagnetic radiation. Barbasov N.V.

The article discusses possible means of combating small unmanned aerial vehicles, and presents the effectiveness of each of the means under consideration. Options for destroying unmanned aerial vehicles have been studied. Promising approaches to countering UAVs. It has been shown that such approaches can achieve more effective protection against small unmanned aerial vehicles. The technical and economic benefits of the proposed solutions are emphasized.

Key words: unmanned aerial vehicle (UAV), anti-UAV means, satellite navigation system, electronic warfare, weapons and military equipment (WME), small UAVs.

Введение

БПЛА являются одним из перспективных видов вооружения. БПЛА обладают рядом качеств, которые не доступны другим летательным аппаратам имеющих ряд преимуществ которые, позволяют применять БПЛА в современных боевых действиях. Однако способы и методы борьбы с ними являются малоизученными [2]. Для глубокого изучения средств борьбы с БПЛА следует рассмотреть их классификацию.

Классификация БПЛА

Международной ассоциацией по беспилотным летательным системам UVSI была предложена универсальная классификация БПЛА [12]. Данная классификация является наиболее подробной и очень четко отражает возможности каждой категории БПЛА.

Малые БПЛА являются наиболее сложной целью из всех имеющихся [2], [4], [18] при этом они способны выполнять больший спектр задач чем другие группы БПЛА. В связи с этим целесообразно рассмотреть борьбу именно с этой группой БПЛА. Т.е. рассматриваемые БПЛА будут иметь взлетную массу менее 400 кг, дальность полета менее 200 км, высоту полета менее 5 000 м, продолжительность полета менее 10 ч.

Средства борьбы с БПЛА

В ходе анализа малых БПЛА были выявлены наиболее эффективные средства борьбы с малыми БПЛА [3]: противодействие ракетными комплексами и противодействие боевыми средствами РЭП.

Для выявления наиболее эффективного способа борьбы с БПЛА рассчитаем эффективность каждого способа и вычислим экономический выигрыш от применения каждого из способов.

Условно будем считать, что обнаружение БПЛА происходить на расстоянии 5 км, противодействие с использование РЛС будет оказываться в радиусе 1 км[3].

Эффективность средств борьбы с БПЛА оценивают на основе снижения потерь основных вооружений и военной техники (ВВТ) при ведении средств борьбы с БПЛА на основе показателя относительного снижения потерь за счет ведения средств ПВО[4]:

$$p = \frac{П - П_{ПВО}}{П} \cdot 100\,\% \quad (1)$$

где: p – показатель относительного снижения потерь; П – потери ВВТ в операциях (боевых действиях) в случае, если средства борьбы с БПЛА не применялись; $П_{ПВО}$ – потери ВВТ при ведении РЭБ.

$$П_{ПВО} = П \bullet Р_{вып\ бз} \quad (2)$$

где $Р_{вып\ бз}$ - вероятность выполнения боевой задачи.

$$Р_{вып\ бз} = 1 - (1 - Р_{вып\ бз1})^{N} \quad (3)$$

где $Р_{вып\ бз1}$ - вероятность выполнения боевой задачи одним БПЛА, N - количество БПЛА

$$Р_{вып\ бз1} = Р_{выл} \bullet Р_{преод} \bullet Р_{нав} \bullet Р_{возд} \quad (4)$$

где $Р_{выл}$ – вероятность своевременного вылета БПЛА, характеризует эффективность функционирования наземной системы управления и технических средств инженерно-авиационного и аэродромно-технического обеспечений; $Р_{преод}$ – вероятность преодоления БПЛА зоны ПВО и зон РЭП, характеризует маневренные свойства БПЛА, эффективность выбора маршрута полета, устойчивость БПЛА и его бортового оборудования к воздействию поражающих факторов средств ПВО и РЭП; $Р_{нав}$ – вероятность успешного наведения на цель, которая характеризует эффективность функционирования бортовых средств БПЛА, прицельно-навигационного комплекса и наземной системы управления; $Р_{возд}$– вероятность успешного воздействия по цели: для разведывательных БПЛА – успешное вскрытие разведываемых параметров цели, для ударных БПЛА – успешное поражение цели [3], [4].Отметим, что вероятности в последнем выражении являются условными, и каждая следующая вероятность принимает свое некоторое значение, при условии, что вероятности предыдущих этапов уже равны единице.

Представляется логичным оценивать целесообразность применения и создания техники противодействия БПЛА путем сопоставления величины снижения потерь за счет противодействия БПЛА и затрат на обеспечение такого снижения [4]. Для стоящей на вооружении техники противодействия

БПЛА эффект или выигрыш представляет собой разность между потерями ВВТ без применения противодействия БПЛА и потерями при ведении противодействия БПЛА:

$$W_c = C - П_{ПВО} \bullet (C + C_{ПВО}) - Z \quad (5)$$

где C, $C_{ПВО}$ - стоимость ВВТ и средств борьбы с БПЛА соответственно; Z - затраты на содержание средств борьбы с БПЛА

Из-за отсутствия большого массива эмпирических данных о потерях в боевых действиях при работе разведывательных БПЛА (эти данные не разглашаются) произвести данные расчеты невозможно. Однако, можно создать теоретическую модель защиты определенной группировки от действий разведывательного БПЛА.

Сравнение эффективностей средств борьбы с БПЛА

Предположим, что перед танковой ротой (10 танков Т-72Б3) стоит некоторая боевая задача, который выполняет задачу в течении недели. Во время выполнения задачи группировка из 5 вражеских БПЛА будет патрулировать территорию проведения операции. Если танковая рота будет обнаружена БПЛА противника, то данное подразделение будет ликвидировано массированным артиллерийским огнем. Отсюда получаем, что П = 10, С = 200 млн руб. (средняя цена Т-72Б3 по оценки разных источников [8], [25]) N = 5. Значения $Р_{вып\ бз1}$ и Z зависят от применяемого средства борьбы с БПЛА. Значение $Р_{вып\ бз1}$ равно значению последнего из рассматриваемого фактора (с учетым введеных упрощений $Р_{вып\ бз1} = Р_{преод}$, в случае с ликвидацией пункта управления $Р_{преод}$ =1, $Р_{вып\ бз1} = Р_{нав}$) поэтому приведем таблицу 1 с значниями $Р_{вып\ бз1}$ и комментарием значения последнего из рассматриваемого фактора. Значением Z, в рамках одной операции пренебрежимо мало, поэтому примем для всех случаев Z=0.

Таблица 1 - значения $Р_{вып\ бз1}$ при использовании современных средств противодействия БПЛА. $Р_{вып\ бз1}$ получены по результатам боевых действий и множества испытаний

Наименование средства борьбы с БПЛА	$Р_{вып\ бз1}$, %	Комментарий значения
РЭП	65	Вероятность подавления = 67 % , см. [3] Вероятность обнаружения = 90%, см. [14] $Р_{вып\ бз1}$ = (1-0,5*0,9)*100%
Ракетные комплексы	45	1 Установка не эффективно противодействует 5 БПЛА [3] , Примем $Р_{вып\ Б33}$ =95%, тогда по формуле (3) $Р_{вып\ Б31}$ =1,7%.
Средства Электромагнитного излучения	1,7	Установка эффективно противодействует 3 БПЛА [3] , Примем Рвып Б33 =5%, тогда по формуле (3) Рвып Б31 =1,7%.

Таблица 2 - Примерные значения $С_{ПВО}$, для современных средств противодействия БПЛА

Наименование средства борьбы с БПЛА	$С_{ПВО}$, млн. руб .
РЭП	125,2 в 2011 [6] С учетом инфляции [5] – 214,3
Ракетные комплексы	980 [9]
Средства электромагнитного излучения	125,2 в 2011 [6] С учетом инфляции [5] – 214,3

Из всех выше указанных значений можно получить $П_{ПВО}$,$Р_{вып\ бз}$, W_c. Сведем их в одну таблицу

Таблица 3 - Значения $П_{ПВО}$, $Р_{вып\ бз}$, W_c, для современных средств противодействия БПЛА

Наименование средства борьбы с БПЛА	$Р_{вып\ бз}$, %	$П_{ПВО}$, шт	W_c, млн. руб.
РЭП	99,47	9,95	-113,80
Ракетные комплексы	94,97	9,5	-9206,12
Средства электромагнитного излучения			

Применение остальных современных средств противодействия БПЛА экономически не целесообразно, в случае отражения группы БПЛА, от боевых подразделений. Рассмотрим ситуацию когда налет совершается одним БПЛА на группировку войск с N средств противодействия БПЛА см. рис.2. и рис.3.

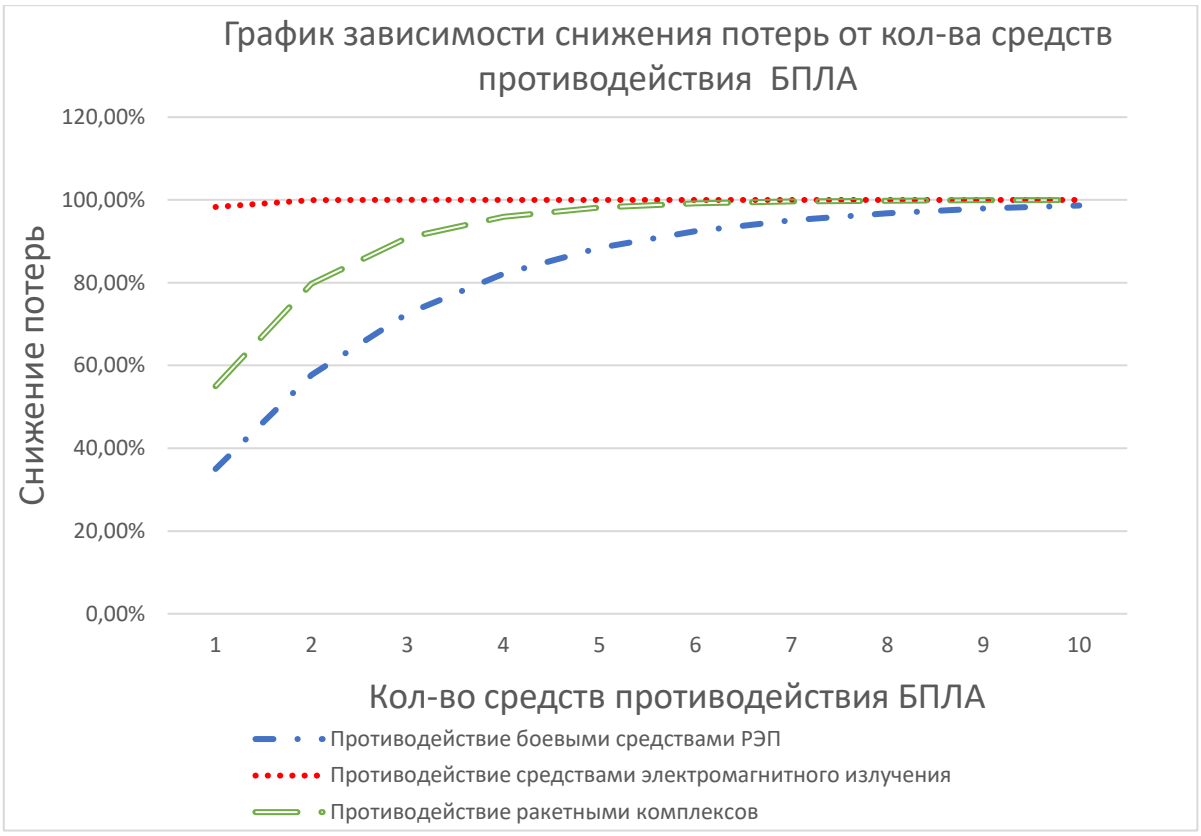


Рисунок 1 – График зависимости экономического выигрыша от кол-во средств противодействия БПЛА

Из рис.2 видно, что все современные средства борьбы с БПЛА эффективны лишь тогда, когда их в разы больше.

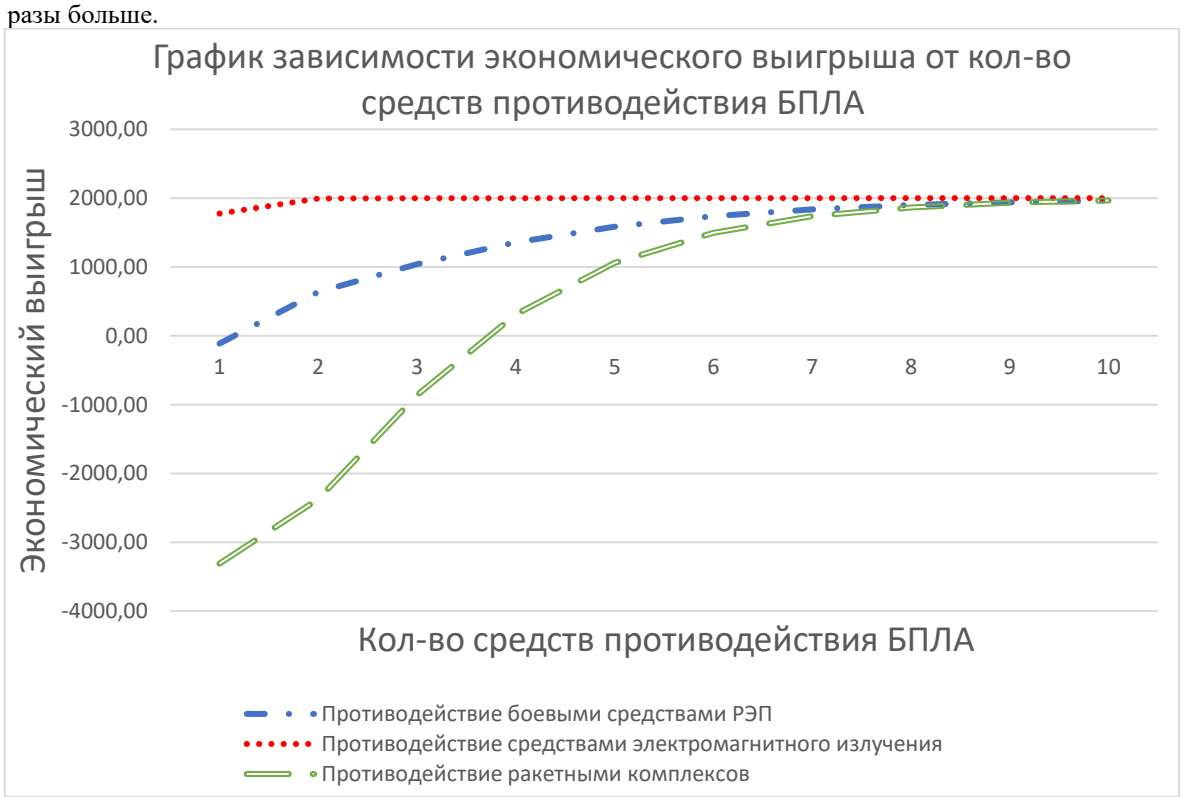


Рисунок 2 – График зависимости снижения потерь от кол-ва средств противодействия БПЛА

Наиболее эффективные средства противодействия БПЛА, которые дают выигрыш при их применении средства электромагнитного излучения, специально тренированные птицы и БПЛА-перехватчики и ликвидация пунктов управления.

Заключение

Самым эффективным из рассмотренных средств противодействия малых БПЛА являются средства электромагнитного излучения. Современные средства противодействия БПЛА не обеспечивают эффективной защиты от групп малых БПЛА, в связи с чем их применение экономически не целесообразно.

Литература

1. Дризе А.Д. Электродинамическое моделирование элементов тракта станции спутниковой связи /А.Д. Дризе, К.Н. Климов// Вестник воздушно-космической обороны. – 2021. N° 2(30).С.87-97.
2. Жуков А.М. Экономико-математические модели оценки эффекта применения образцов техники радиоэлектронной борьбы. Вооружение и экономика No 3(24)/2013 - 105с.
3. Макаренко С.И., Противодействие бесптлоьным летательным аппаратам. Монография. - СПб.: Наукоёмкое технолгии, 2020. - 204 с.
4. Макаренко С.И., Тимошенко А.В., Васильченко А.С. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Системы управления связи и безопасности No 1(4)/2020 - 301с.
5. http://global-finances.ru/inflyatsiya-v-rossii-po-godam/, дата обращения - 20.03.23
6. http://militaryrussia.ru/blog/topic-742.html, дата обращения - 20.03.23
7. http://www.bolshoyvopros.ru/questions/4023180-kakaja-stoimost-odnoj-rakety-tor-m2.html, дата обращения - 20.03.23
8. https://army--today-ru.turbopages.org/turbo/army-today.ru/s/tehnika/t-72, дата обращения - 30.01.23
9. https://docs.geoscan.aero/ru/master/database/const-module/classification/classification.html, дата обращения - 30.01.23
10. https://infopedia.su/15x1380e.html, дата обращения - 20.03.23
11. https://topwar.ru/162882-proekt-raytheon-phaser-fantastika-v-opytnoj-jekspluatacii.html, дата обращения - 20.03.23

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ

Хомутцов С.В., Кравец А.Г.
ИГРОВОЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ДЕПРЕССИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ 10

Бечиев Ш.Ш.
О МЕРАХ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ УЧАЩИХСЯ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ 14

Богодистова Е.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОХРОННЫХ УСТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ-МОНИТОРА USB .. 21

Голицына И. Н.
ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ 27

Рагимова Н. К., Гусарова М. Н.
ЦИФРОВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ГУМАНИТАРНЫХ ДИСЦИПЛИН В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ 31

Деев М.В., Финогеев А.Г, Грушевский А.А., Игошин И.В.
МОДЕЛЬ ЗАЩИЩЕННОГО ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ЦИФРОВЫХ ПОРТФОЛИО ОБУЧАЕМЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ 34

Жебель В.А., Солдатов.А.И.
ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ДОСТОВЕРНОСТИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА 38

Романенкова Д.Ф.
ДОСТУПНОСТЬ ЦИФРОВОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ НАРУШЕНИЙ ЗДОРОВЬЯ 42

Катасонова Г.Р., Сотников А.Д., Соломко Ю.С.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОЙ МОДЕЛИ В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ 46

Ксенз Н.С.
АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ЖЕНСКОЙ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ 49

Ловцов Д. А., Кунин Е. И.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОХРАНЫ И ЗАЩИТЫ АВТОРСКИХ И СМЕЖНЫХ ПРАВ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ 52

Назаров Н.А., Сафин Ш.И., Толчеев В.О.
РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ БИБЛИОТЕК PYTHON 55

Петраевский В.А., Кравец А.Г.
ПОДХОД К ПСИХИАТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА АУДИОИНФОРМАЦИИ 61

Биленко Р.В., Постников И.В., Хазбулатов А.Т.
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ИНСТИТУТА 65

Семочкина Е.В., Смагина И.А.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ АУДИТОРИИ САЙТОВ ВО ВРЕМЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ 68

Федосеев С.В.
СЕРТИФИКАЦИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ: ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МОДЕЛИ СЕРТИФИКАЦИИ И НАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ 72

Барков С.С., Овчинников С. А., Серпуховитин Д. А.
СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПОДХОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ МЕРА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 77

Данилович Е.С., Кривошея М.С., Путуридзе З.Ш.
ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ, АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УЧЕБНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «АВРОРА» ДЛЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ЯЗЫКЕ С++……79

ГЛАВА 2. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ, ПОИСКОВЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

Адамова А.А. , Темиров А.Т.
ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ 87

Колпаков А.А., Чугунова Д.И., Проскуряков А.Ю., Бейлекчи Д.В.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ МИКШИРОВАНИЯ ЗВУКОВЫХ ПОТОКОВ В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ 92

Гавриков А.П., Колпаков А.А., Бейлекчи Д.В.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ НА ОДНОПЛАТНЫХ КОМПЬЮТЕРАХ 97

Кирилин А.А., Бейлекчи Д.В., Проскуряков А.Ю.
ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ СГЛАЖИВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ ПОМЕХ И ШУМОВ В СИСТЕМАХ ГРОМКОГОВОРЯЩЕЙ СВЯЗИ 102

Ашарина И.В., Сипета Р.В., Сипета А.Ю.
СРАВНЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ 4-КАНАЛЬНОЙ ЦВМ В КАЧЕСТВЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО БОРТОВОГО КОМПЬЮТЕРА КА И ГРУППИРОВКИ КА С НЕРЕЗЕРВИРОВАННЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЯМИ 106

Зайцев В.Е., Кильметов Р.А., Иванов М.В., Галиев Р.Д.
ИННОВАЦИОННЫЙ МИКРОКОНТРОЛЛЕР ESP-32: ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ К ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В РАЗНЫХ ОТРАСЛЯХ 112

Горлов Н.И., Шайгараева Т.Н.
МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ 116

Гродзенский С.Я., Гродзенский Я.С.
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАКОНА 80/20 119

Гродзенский С.Я.
ОПИСАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ 122

Палагута К.А., Груненков Н.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИСПЫТАНИЙ НА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ 129

Исмагилов Ф.Р., Галиев Р.Д., Кильметов Р.А., Иванов М.В., Зайцев В.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ВИНТОМОТОРНОЙ ГРУППЫ В БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ: АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ 134

Шахмаева А.Р., Казалиева Э.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОСАДКИ КРИСТАЛЛА МОЩНОГО ТРАНЗИСТОРА НА ОСНОВАНИЕ КОРПУСА С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ 138

Киров А.В.
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ЗАКАЗЧИКОМ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ НА СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА 142

Михалаки Е.А.
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ 145

Русакова З.Н.
ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШАЮЩИХ ГРАФОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ 155

Старостин И.Е., Гавриленков С.И, Гришненко Д.Н.
МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДУЛЯ СБОРА ДАННЫХ С КАЖДОГО АККУМУЛЯТОРА В ЛИТИЙ-ИОННОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕЕ 158

Старостин И.Е., Дружинин А.А., Мурашкина М.Е.
ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ АВИАЦИОННЫХ ЛИТИЙИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА БАЗЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 163

Сукиасян А.Г.
МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРЕЖДЕВРЕМЕННОЙ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ ОТ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ПРИЧИН 169

Юрчишина М.В., Бушмелева К.И.
ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ГРУПП СВЯЗАННЫХ ДИСЦИПЛИН УЧЕБНОГО ПЛАНА ДЛЯ БАКАЛАВРИАТА ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА» .. 174

Анцыферов С.С., Ханова М.К.
ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМЫ ДОКУМЕНТАЛЬНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПОТОКА 178

Чекушкин А. А., Егунов В. А., Кравец А. Г.
НОВЫЙ ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СИСТЕМАХ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА 181

Чесалин А.Н., Ставцев А.В., Ушкова Н.Н., Аксенова А.А.
УНИФИЦИРОВАННАЯ АРХИТЕКТУРА ЗАЩИЩЕННОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ 184

Шамров М.И.
ФОРМАЛИЗОВАННЫЙ ПОДХОД К ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ 187

Шувалов В.П., Лизнева Ю.С., Квиткова И.Г.
ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СРОКА СЛУЖБЫ ОПТОВОЛОКОННОЙ ЛИНИИ 192

Заикин Я.В., Степушин К.А, Никитин Г.Э.
ПРИМЕНЕНИЕ КАМЕР ФИКСАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В УМНЫХ ГРОУБОКСАХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАДИЙ РОСТА РАСТЕНИЙ 200

Авдеюк Д. Н.
МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 204

Белоусов А.В., Жилин Е.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАРЯДА И РАЗРЯДА УПРАВЛЯЕМОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ 209

Болдырева М.А.
ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТРАЕКТОРИЯ: ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ 213

Макаричев Ю.А., Полянский Е.А.
ИНДУКЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ПЕРЕПЛАВКИ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВАРИАНТЫ ИХ РЕШЕНИЯ..... 219

Саушев А. В., Широков Н. В.
ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С РЕЗЕРВНЫМ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОМ 222

Коковин В.А., Кривцов П.Н., Сытин А.Н. Увайсов С.У.
АППАРАТНЫЕ МЕТОДЫ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ 226

Ларина Т.Б., Орлова Д.А.
РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ В ФРЕЙМВОРКЕ VUE.JS 231

Гнеушев В.А., Кравец А.Г
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГРЕССИОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕВЫХ РЕСУРСОВ..... 237

Семёночкин Д. О., Марков А. К., Кравец А. Г.
АНАЛИЗ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ФАЙЛОВЫХ СИСТЕМ 240

Морозов К.В.
ТЕНЕВЫЕ БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ. РИСК И ПРОФИЛАКТИКА ВТОРЖЕНИЙ И НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА 244

Бурый А.С., Ловцов Д.А.
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ УМНОГО ГОРОДА..... 247

Давтян А.Г., Шабалина О.А., Берестнева О.Г.
НЕТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА КАК КАТЕГОРИАЛЬНЫЙ ФЕНОМЕН 251

Быстров С.В. Мирзавалиев Д.Б. Халмуратова Д.Ф.
ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЛЕНА ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ 254

Герасимов Д.С., Яшина М.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОМЕХ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ АВТОМОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ МОДУЛЯЦИИ…….256

Калигин Н.Н., Увайсов С.У.
НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА…….260

Надеждин Е.Н., Тихонов М.А.
МЕТОДИКА ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ИТ-ПРОЕКТОВ……...…….265

Битюков В.К., Лавренов А.И.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ZETA ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННЫМИ ДРОССЕЛЯМИ……...……270

Курбанов А.З., Магомедова М.А., Вагабов Н.М.
ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ 3D-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО РЕЗЬБОНАРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА……...…276

Шеденко В.В., Иванов И.А.
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА……..280

Фимин Д.И., Иванов И.А.
СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ЗДАНИЙ……..……283

Лебедев С.Г.
СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КОРРЕЛЯЦИИ В НАНОГРАФИТОВЫХ ПЛЕНКАХ……...287

Боева А.В., Стадная Н.П., Клинских А.Ф.
МГНОВЕННАЯ ЗАПУТАННОСТЬ МНОГОКУБИТОВЫХ СИСТЕМ……...…….293

Хаджийская Е.Ю., Иванов В.С.
СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ МОНИТОРИНГА ВЛАЖНОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА…….……296

Яновский Л.С., Ежов В.М., Червонная Н.А., Ильина М.А.
ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРИОДА ИНДУКЦИИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОПЛИВ НА УДАРНОЙ ТРУБЕ…301

ГЛАВА 3. АНТЕННЫ, СВЧ ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Конов К.И.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНВАРИАНТОВ СЕСТРОРЕЦКОГО ДЛЯ СИНТЕЗА ФИЛЬТРОВ С УНИКАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ 305

Сучков А.В.
МОЩНЫЕ СВЧ-ДИПЛЕКСЕРЫ НА ВСТРЕЧНО-СТЕРЖНЕВЫХ ФИЛЬТРАХ..... 310

Хабай А., Абдраимова Д.Б., Әбдіжәлел Қ.Н.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОМПРЕССИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ GSM 318

Иванов В.В.
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ НА ОСНОВЕ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ БПЛА 326

Ирзаев Г.Х.
ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В УСЛОВИЯХ УМНОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА..... 332

Азаренков М.И.
ПРИМЕНЕНИЕ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON ДЛЯ ОБРАБОТКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ В РАМКАХ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ИЗДЕЛИЙ 335

Карпухин С.А.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ПОЗВОЛЯЮЩАЯ УТОЧНЯТЬ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕЛИ 339

Катаев Я.Л.
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЙ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИИ ПРИЕМНИКА И СЧИТЫВАТЕЛЯ СИГНАЛОВ С АПФАР 346

Крутилин М.Д.
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНСТРУКЦИИ СВЧ МЭМС-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ЗНАЧИМЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОЛОКАЦИИ И СВЯЗИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ 352

Долматов А.В, Лыу Н.Т, Нгуен К.Д, Во Т.Х, Дао А.К
ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ РАССЛОЕНИЯ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ ЧЕРЕЗ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ 359

Макарушкин Г.Г.
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО ПРИЕМНОГО АНТЕННОГО ПОЛОТНА СПРОЕКТИРОВАННОГО МЕТОДОМ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СЕСТРОРЕЦКОГО 365

Мартынов Д.А.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕМРИСТОРОВ. ИХ ПОТЕНЦИЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИИЕ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ И ИСКУСТВЕННЫХ ИТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОМОРФНЫХ ЧИПОВ. 369

Нгуен К. Д., Долматов А.В, Лыу Н.Т., Во Т.Х., Борискина Д.О.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ СКРЫТНЫХ ДЕФЕКТОВ НА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ 374

Павлов П.Д.
РЕАЛИЗАЦИЯ БЛОКА РАСЧЕТА КОНТРОЛЬНОЙ СУММЫ CRC-32 НА ПЛИС 383

Панкратова Т.А.
АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ 387

Пропастин А.А., Русов Ю.С.
ФОРМИРОВАНИЕ РАЗНОСТНОЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ОДНОКАСКАДНОЙ ШАХМАТНОЙ СХЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ 394

Пудиков А.В.
РАЗРАБОТКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЁМНОГО МЕХАНИЗМА С ФИКСАЦИЕЙ ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ 398

Виноградова С.М.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПЕЛЕНГАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ ... 405

Граблин В.В.
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГИБРИДНОГО СВЧ МЭМС-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ 412

Фам Ван Ты, Долматов А.В., Лыу Нгок Тиен
СОЗДАНИЕ RESTFUL BACKEND API С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ NESTJS, АУТЕНТИФИКАЦИИ JWT И БАЗЫ ДАННЫХ TYPEORM ДЛЯ MSSQL 416

Эбрахим А., Иванов И.А., Али А.
МЕТОД ДЛЯ МАКСИМАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТЬЮ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ... 422

Боловин С.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СЕСТРОРЕЦКОГО ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАЗЕМНЫХ И БОРТОВЫХ ТРАКТОВ СВЧ 425

Климов К.Н.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТОКОВОГО КУБА СЕСТРОРЕЦКОГО ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО 3D ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА 429

Булах Д.А., Коршунов А.В., Волобуев П.С.
ИСПРАВЛЕНИЕ НАРУШЕНИЙ АНТЕННЫХ ПРАВИЛ В РАМКАХ ОТКРЫТОГО МАРШРУТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ OPENLANE..... 433

Булах Д.А., Булах Т.В., Коршунов А.В.
ОЦЕНКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ 438

Яловнаров С.В.
СОЗДАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ 444

Харьков В.П., Горшков П.С., Полякова А.А., Исаев С.А.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЛА ПО ИНФОРМАЦИИ ОТ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ……447

Аминев Д.А., Бунина Л.В., Иванец М.С., Коротких А.В.
КОНСТРУКЦИЯ ВСТРАИВАЕМОГО ОПТОВОЛОКОННОГО КОММУТАТОРА НА ОСНОВЕ МЭМС……..454

Никитин В. В.
ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВЫЗОВА ЭКСТРЕННЫХ СЛУЖБ ДЛЯ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ……..……..460

Барбасов Н.В., Косогов П.Ю.
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА РЛС……...……464

Барбасов Н.В.
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОРЬБЫ С МАЛЫМИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ ПРОТИВОДЕЙСТВИЕМ СРЕДСТВАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ..467

129085, г. Москва, улица Годовикова, дом 9, строение 1, этаж 2, помещение 2.2, комната 2.2.7
тел.: +7(495)255-36-35,
факс: +7(499)558-00-49,
contacts@naukasoft.ru, http://naukasoft.ru

ПРАКТИКА, ОСНОВАННАЯ НА НАУЧНЫХ ТРАДИЦИЯХ

Экспериментальная мастерская НаукаСофт создана в 2005 году представителями ведущих научных школ Военно-воздушной инженерной академии им. Проф. Н. Е. Жуковского в области авиационной электроэнергетики, автоматических и автоматизированных систем управления и навигации, а также научно-исследовательского Центра образовательных и информационных технологий Военно-воздушной академии им. Ю. А. Гагарина.

В разные годы эти научные школы возглавляли действительные члены Академии наук СССР и РАН: В. С. Кулебакин, Г. С. Поспелов, А. А. Красовский, профессора Ю. А. Кочетков, В. А. Боднер, И. М. Синдеев, В. А. Винокуров и другие известные ученые.

В настоящее время «ЭМ НаукаСофт» - это коллектив с внушительным научным потенциалом и опытом его применения на практике для решения самых разнообразных задач: от разработки высокоточных авиационных систем навигации, управления и электроэнергетики до создания сложных автоматизированных информационно-аналитических систем.

СПЛАВ УЧЕНЫХ И ИНЖЕНЕРОВ

В организации трудятся доктора и кандидаты технических наук, молодые талантливые специалисты ведущих московских вузов, а также высококвалифицированные инженеры с большим опытом в решении прикладных задач. Это позволяет «ЭМ НаукаСофт» предоставлять полный комплекс услуг по IT-консалтингу, организации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по сопутствующим научным направлениям, а также по разработке, требуемого заказчикам, программного обеспечения.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- Электроэнергетика автономных систем.
- Управление и навигация подвижных объектов.
- Автоматизированные информационные, аналитические и управляющие системы.

Все направления деятельности лицензированы Министерством промышленности и торговли РФ.

ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА РЕАЛИЗАЦИЮ

Опытное конструкторское бюро и производство «ЭМ НаукаСофт» позволяют реализовывать на практике собственные научно-технические идеи и решения. Это означает, что мы выполняем проекты «под ключ», добиваясь идеальных результатов по заданным параметрам, и имеем возможность тщательно контролировать ход проектов на любом из этапов их жизненных циклов.

ВОЕННОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО

В «ЭМ НаукаСофт» создаются и проходят проверку на жизнеспособность разноплановые проекты, в том числе такие, которые требуют контроля качества и приемки со стороны Министерства обороны РФ. Все проекты, связанные с Гособоронзаказом, проводятся под контролем аккредитованного на предприятии военного представительства.

ОБМЕН ОПЫТОМ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИЙ

«ЭМ НаукаСофт» является организатором ежегодной Всероссийской научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского». Кроме того, принимает активное участие в организации многих других научных конференция, оказывает спонсорскую и информационную поддержку в проведении ежегодной Международной научно-практической конференции «Инновационные информационные технологии», а также ежегодного Международного симпозиума «Надежность и качество».



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.

Для руководства работой Ассоциации учредителями избран президент и председатель правления Ассоциации.

Предлагаем 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.

Издательство «Грифон» выпустило в свет семитомник «История коммуникаций».

Автор Л.Н. Кечиев, д.т.н., профессор.

Издание включает следующие тома:

Том 1. Пионеры электричества, магнетизма и коммуникаций

Том 2. Коммуникации без электричества

Том 3. Электричество и магнетизм - начало

Том 4. История телеграфа

Том 5. История телефона

Том 6. История беспроводной телеграфии и радио

Том 7. История телевидения



В «Истории коммуникаций» рассмотрено развитие средств связи с древних времен до начала XX века. В первом томе приведены 51 эссе, в которых описываются творческие биографии выдающихся личностей, чей вклад в развитие науки об электричестве и магнетизме, а также в создание средств коммуникаций неоценим. В последующих томах на основе первоисточников - материалов второй половины XIX века - рассмотрена история развития техники коммуникаций, истории изобретений в этой области, роль и деятельность выдающихся ученых, инженеров, изобретателей.

Издание хорошо иллюстрировано и ориентировано, прежде всего, на молодое поколение, которое интересуется радиотехникой и электроникой, но, несомненно, будет интересно и для любознательного читателя любого возраста, поскольку содержит много малоизвестных фактов, описание любопытных изобретений, упоминание о выдающихся личностях, незаслуженно забытых.

Приобрести книгу можно в издательстве “Грифон”!

111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 50, стр. 2, офис 205. Тел.: +7 (495) 133-95-57

e-mail: grifon@grifon-m.ru

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ГРИФОН



Сборник трудов
XX Международной научно-практической конференции

Гл. ред. С.У.Увайсов
Отв. ред. И.А.Иванов

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка: Д.С.Панасик,
А.В.Долматов
Дизайн И.А.Иванов

Подписано в печать 10.11.2023.
Формат 60×84/8. Бумага «Pioneer»
Усл. печ. л. 56.27 Тираж 500 экз. Заказ __

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