

АПИ

АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

международный научный журнал // ISSN 2713-1513 // № 3 (289), 2026 // apni.ru



часть I

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2026 • № 3 (289)

Часть I

Издается с ноября 2019 года

Выходит еженедельно

ISSN 2713-1513

Главный редактор: Ткачев Александр Анатольевич, канд. социол. наук

Ответственный редактор: Ткачева Екатерина Петровна

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абдуллин Тимур Zufарович, кандидат технических наук (Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара)

Абидова Гулмира Шухратовна, доктор технических наук, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Альборад Ахмед Абуди Хусейн, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Аль-бутбахак Башшар Абуд Фадхиль, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Альхаким Ахмед Кадим Абдуалкарем Мухаммед, PhD, доцент, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Асаналиев Мелис Казыкеевич, доктор педагогических наук, профессор, академик МАНПО РФ (Кыргызский государственный технический университет)

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, проректор по научной работе, профессор, директор НИИ биогеографии и ландшафтной экологии (Дагестанский государственный педагогический университет)

Бафоев Феруз Муртазоевич, кандидат политических наук, доцент (Бухарский инженерно-технологический институт)

Гаврилин Александр Васильевич, доктор педагогических наук, профессор, Почетный работник образования (Владимирский институт развития образования имени Л.И. Новиковой)

Галузо Василий Николаевич, кандидат юридических наук, старший научный сотрудник (Научно-исследовательский институт образования и науки)

Григорьев Михаил Федосеевич, доктор сельскохозяйственных наук (Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого)

Губайдуллина Гаян Нурахметовна, кандидат педагогических наук, доцент, член-корреспондент Международной Академии педагогического образования (Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова)

Ежкова Нина Сергеевна, доктор педагогических наук, профессор кафедры психологии и педагогики (Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого)

Жилина Наталья Юрьевна, кандидат юридических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Ильина Екатерина Александровна, кандидат архитектуры, доцент (Государственный университет по землеустройству)

Каландаров Азиз Абдурахманович, PhD по физико-математическим наукам, доцент, проректор по учебным делам (Гулистанский государственный педагогический институт)

Карпович Виктор Францевич, кандидат экономических наук, доцент (Белорусский национальный технический университет)

Кожевников Олег Альбертович, кандидат юридических наук, доцент, Почетный адвокат России (Уральский государственный юридический университет)

Колесников Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент (Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова)

Копалкина Евгения Геннадьевна, кандидат философских наук, доцент (Иркутский национальный исследовательский технический университет)

Красовский Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН и АИН (Уральский технический институт связи и информатики)

Кузнецов Игорь Анатольевич, кандидат медицинских наук, доцент, академик международной академии фундаментального образования (МАФО), доктор медицинских наук РАГПН, профессор, почетный доктор наук РАЕ, член-корр. Российской академии медико-технических наук (РАМТН) (Астраханский государственный технический университет)

Литвинова Жанна Борисовна, кандидат педагогических наук (Кубанский государственный университет)

Мамедова Наталья Александровна, кандидат экономических наук, доцент (Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова)

Мукий Юлия Викторовна, кандидат биологических наук, доцент (Санкт-Петербургская академия ветеринарной медицины)

Никова Марина Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Московский государственный областной университет (МГОУ))

Насакаева Бакыт Ермекбайкызы, кандидат экономических наук, доцент, член экспертного Совета МОН РК (Карагандинский государственный технический университет)

Олешкевич Кирилл Игоревич, кандидат педагогических наук, доцент (Московский государственный институт культуры)

Попов Дмитрий Владимирович, доктор филологических наук (DSc), доцент (Андижанский государственный институт иностранных языков)

Пятаева Ольга Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент (Российская государственная академия интеллектуальной собственности)

Редкоус Владимир Михайлович, доктор юридических наук, профессор (Институт государства и права РАН)

Самович Александр Леонидович, доктор исторических наук, доцент (ОО «Белорусское общество архивистов»)

Сидикова Тахира Далиевна, PhD, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Таджибоев Шарифджон Гайбуллоевич, кандидат филологических наук, доцент (Худжандский государственный университет им. академика Бободжона Гафурова)

Тихомирова Евгения Ивановна, доктор педагогических наук, профессор, Почётный работник ВПО РФ, академик МААН, академик РАЕ (Самарский государственный социально-педагогический университет)

Хаитова Олмахон Саидовна, кандидат исторических наук, доцент, Почетный академик Академии наук «Турон» (Навоийский государственный горный институт)

Цуриков Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент (Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС))

Чернышев Виктор Петрович, кандидат педагогических наук, профессор, Заслуженный тренер РФ (Тихоокеанский государственный университет)

Шаповал Жанна Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Шошин Сергей Владимирович, кандидат юридических наук, доцент (Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского)

Эшонкулова Нуржахон Абдужабборовна, PhD по философским наукам, доцент (Навоийский государственный горный институт)

Яхшиева Зухра Зиятовна, доктор химических наук, доцент (Джиззакский государственный педагогический институт)

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Вилкина А.Л.

РАЗВИТИЕ НЕЛИНЕЙНОГО МЫШЛЕНИЯ НА ОСНОВАНИИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА, ВИЗУАЛИЗАЦИИ И МНЕМОТЕХНИК НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ	6
---	---

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Антоненков А.С.

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТИВОВ ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА	11
--	----

Антоненков А.С.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФРАКРАСНЫХ ОБЪЕКТИВОВ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ZEMAX.....	14
--	----

Карпова В.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОГО МЕТОДА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ АНТЕНН В ANSYS HFSS	18
--	----

Пащенко Ю.А.

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ	21
--	----

Семёнов К.С.

АРХИТЕКТУРЫ И МОДЕЛИ РАДИОКАНАЛА СИСТЕМ СВЯЗИ БАС: ОТ СХЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДО МЕТРИК ЭФФЕКТИВНОСТИ	26
---	----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Елехин А.С.

СПЕЦИФИКА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ АСУ ТП.....	32
---	----

Искандарова С.А.

ОТ ТЕКСТОВОГО ПОСРЕДНИЧЕСТВА К ЛАТЕНТНОЙ КОЛЛАБОРАЦИИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ АГЕНТОВ В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ	35
--	----

Князев Д.С.

ПРЕДИКТИВНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЗАДНЕЙ И ПЕРЕДНЕЙ БАБКИ ТОКАРНОГО МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО СТАНКА РУМА С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ С ПОДДЕРЖКОЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ «ЛАПА ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА»	44
---	----

Ружицкий Д.М.

СЕТЕВЫЕ АТАКИ УРОВНЯ L3–L7 И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ.....	51
---	----

Симаков М.Н., Уваров А.Л., Ильин К.А.

ПРОБЛЕМЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ МОНИТОРИНГА СОБЛЮДЕНИЯ ПОЛИТИК
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ (ИНФОРМАЦИОННЫХ) СИСТЕМ 54

Томилов А.В.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СВЯЗИ В СИСТЕМАХ
ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА 59

Файрушина Ю.Р.

СОЗДАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ЗАМЕТОК С ФУНКЦИЕЙ
СИНХРОНИЗАЦИИ ЧЕРЕЗ ОБЛАЧНОЕ ХРАНИЛИЩЕ 62

Шкурко К.Ю.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРА МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ: ТЕХНИКИ
УМЕНЬШЕНИЯ IPA/АРК ФАЙЛОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОНВЕРСИЮ
УСТАНОВОК..... 64

АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО

Лобачева М.П.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ АКТИВНЫЙ ДОМ 69

ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Вотинова С.В.

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ ЛЕСОПАРКА:
ОЦЕНКА ОБЪЕМНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ 72

МЕДИЦИНА, ФАРМАЦИЯ

Аскарова Ю.А., Алексанян Н.А.

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ И ПРОФИЛАКТИКА ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ
ЗАБОЛЕВАНИЙ ПАРОДОНТА И КАРИЕСА ЗУБОВ У ЛИЦ, НАХОДЯЩИХСЯ
НА ОРТОДОНТИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ 77

МАТЕМАТИКА

ВИЛКИНА Ангелина Леонидовна
учитель математики, МБОУ СОШ № 16,
Россия, г. Чистополь

РАЗВИТИЕ НЕЛИНЕЙНОГО МЫШЛЕНИЯ НА ОСНОВАНИИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА, ВИЗУАЛИЗАЦИИ И МНЕМОТЕХНИК НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ

Аннотация. Целью данной статьи является исследование и обоснование эффективности формирования метасубъектных навыков у школьников посредством внедрения системного подхода и современных образовательных технологий. Методы включают применение систематизированного структурирования учебных материалов, разработку интеллектуальных карт и внедрение методик мнемотехники для улучшения восприятия и обработки информации учениками.

Методом достижения цели служит организация образовательного процесса согласно принципам системного подхода, разработанного Т. Т. Галиевым, что включает активное вовлечение обучающихся в процесс анализа, синтеза и самостоятельной переработки учебной информации.

Результатом проведенного исследования стало выявление значительного повышения уровня когнитивной активности, развитие критического мышления и способностей к саморегуляции среди учащихся, прошедших обучение по указанной методике. Учащиеся научились самостоятельно искать необходимую информацию, решать поставленные задачи и развивать навыки самокоррекции и самооценивания.

Выводы подчеркивают необходимость интеграции инновационных подходов в традиционную систему школьного образования для эффективного развития метакомпетентностей у школьников, позволяющих успешно адаптироваться в условиях быстро меняющегося информационного пространства.

Ключевые слова: метапредметные навыки, системный подход в обучении, технология Т. Т. Галиева, интенсификация обучения, системное мышление, структурирование учебного материала, блочно-системное представление.

Сегодня важное место в обучении отводится формированию метасубъектных навыков. В информационном мире сложно обработать значительный объем постоянно развивающейся информации, однако благодаря навыкам данного типа ученик может с большей степенью эффективности находить, обрабатывать большие объемы данных, а также давать оценку собственной деятельности и определять, и строить программу дальнейшего саморазвития.

Для того чтобы учащиеся приобрели описанные способности необходимо наряду с преподаванием им учебного материала помогать эффективно работать с информацией, создавать алгоритмы и связи между ее компонентами, достраивая блочные данные в целостный самостоятельный объект. Помочь достижению

указанных целей может технология организации обучения на основе системного подхода, предложенная Т. Т. Галиевым.

Системный подход к интенсификации обучения качественно изменяет характеристики процесса обучения, включая поведение и стиль мышления его участников, темпы и эффективность обучения, обуславливая высокую мотивацию и познавательную активность, самостоятельность, возможность ускоренного освоения изучаемых дисциплин. Обучение по технологии системного подхода на основе блочного системного структурированного представления изучаемого материала позволяет решить следующие проблемы:

- формирование навыков активного системного мышления на основе самостоятельного поиска информации и решения

проблемных вопросов;

- включение психологических механизмов самоконтроля, самообучения, самосовершенствования;
- постепенный переход обучения в самообучение;
- значительное сокращение времени на изучение темы.

Формирование системного мышления обучающегося – основа его многостороннего развития, его способности к организации любого

вида деятельности с общим принципом ориентировки, как в предмете деятельности, так и в процессе самой деятельности [3].

Для структурированного представления изучаемого материала могут быть использованы блок-схемы и концептуальные модели, которые составляются как по отдельным темам курса математики, так и охватывают целые разделы. Ниже представлена структурно-логическая схема изучения темы.

<i>Системный анализ</i>	<i>Основная теоретическая часть изучаемого материала, представленная через опорные схемы</i>	<i>Проблемы</i>
Исходные и необходимые данные, получаемые в процессе решения поставленной задачи (проблемы, вопросы, ситуации); полученные результаты и т. д.		Проблемы, существующие и возникающие в процессе решения поставленных задач (заданий и т. д.), сопутствующие проблемы
<i>Влияющие факторы</i>		<i>Новые слова</i>
Что влияет или может повлиять на основную теорию, на качество и эффективность системного анализа, решения проблем с учетом различных факторов условий и ситуаций. Решение специфических задач		Математические термины
<i>Источники</i>		<i>Итог</i>
Литературы, статистических данных, расчета, наблюдений и т. д.		1. Уметь применять самостоятельно формулы тригонометрии при выполнении заданий. 2. Доказывать справедливость формул

Рис. 1. Структурно-логическая схема изучения темы по Т. Галиеву

Работа по СЛС требует соблюдения следующих моментов:

- показ изученного материала с выделением ведущей идеи, входной контроль с актуализацией опорных знаний и информацией о коррекции знаний;
- обучение рациональным способам сворачивания информации, что позволяет лучше понять и быстрее запомнить ее;
- при объяснении нового материала привлечение передового научного опыта, опыта детей, обучение умениям системного мышления: обобщению, анализу, сравнению, выделению главного, установлению причинно-следственных связей;
- исследовательская работа по

выявлению проблем в изучаемой области, что позволяет увидеть связи с другими науками (так как преподносимый материал уже не обладает высоким уровнем субъективности), что способствует формированию нелинейного мышления.

Одной из эффективных технологий активизации обучения является метод визуализации учебной информации, который прочно занял своё место в образовательном процессе. Применение визуальных форм усвоения учебной информации позволяет изменить характер обучения: ускорить восприятие, осмысление и обобщение, умение анализировать понятия, структурировать информацию.

Интеллект-карта (ментальная карта, диаграмма связей, кластер) – это графический способ представить идеи, информацию в виде карты, состоящей из ключевых и вторичных тем, причем в ходе работы над темой в схему добавляются новые данные. Форма работы при использовании данного метода может быть индивидуальной, групповой и фронтальной.

Таким образом, можно отметить, что кластер – это нелинейная форма мышления, которую некоторые исследователи называют «наглядным мозговым штурмом». В результате появляется графическая структура, наглядно отражающая размышления учащихся, что позволит педагогу судить об уровне понимания учащегося темы, «проблемных» местах ее

усвоения ввиду наличия или отсутствия определенных связей. Доработка кластеров осуществляется вместе с педагогом с выписыванием опорных элементов и связей дерева, а его использование осуществляется в течение всего срока обучения (на практике наблюдается в деятельности учащихся один МИНУС, который встретился по крайней мере у семи человек из 21. Эти деревья используют не только для исследования – запоминания связей существующей темы и ее основных элементов, а строят их полноценно при анализе заданий данного блока ввиду того, что могут найти связи, идя только от вершины дерева).

На рисунке ниже отражена интеллект-карта по теме «Параллелограммы и их свойства».

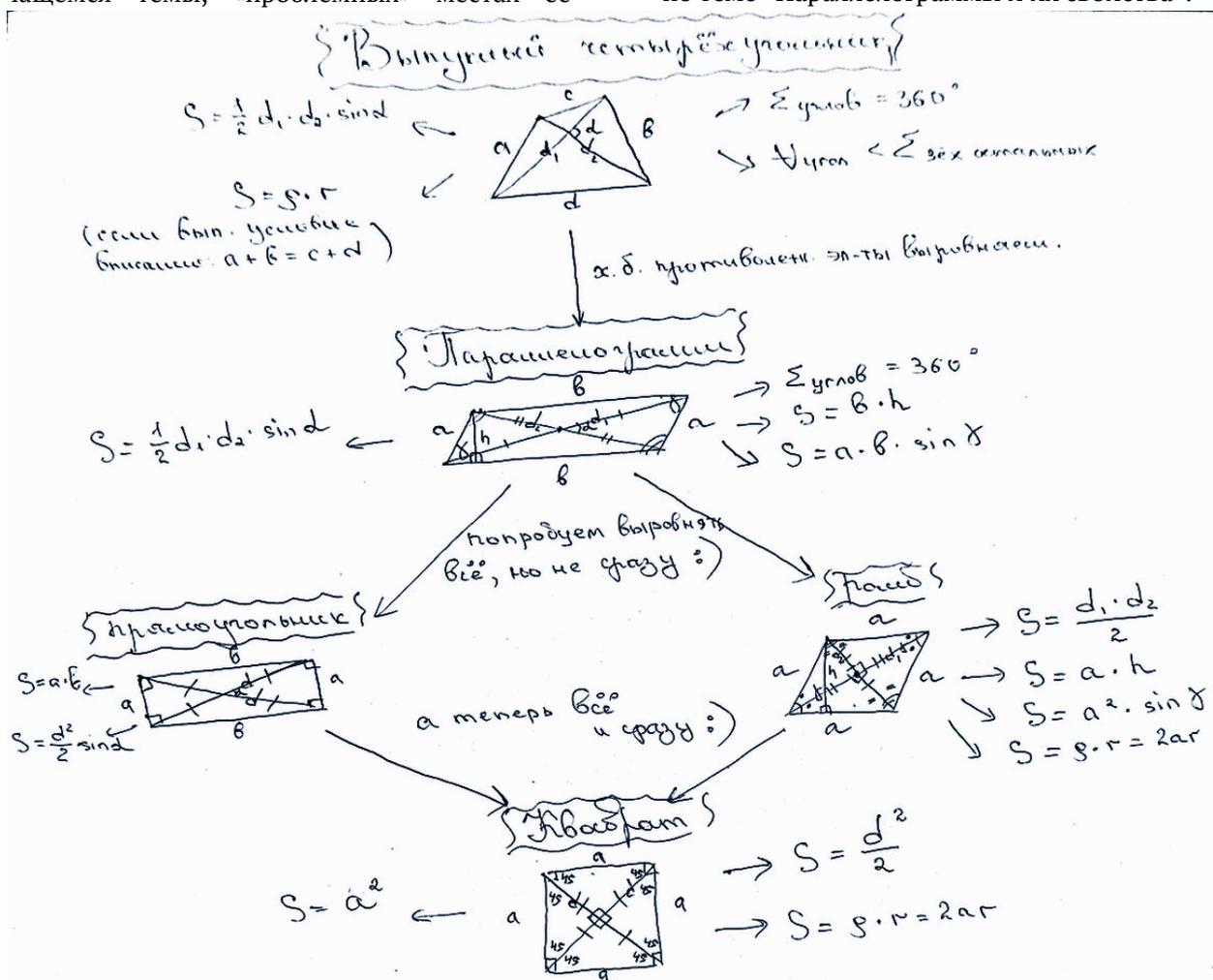


Рис. 2. Интеллект-карта по теме «Параллелограммы и их свойства»

Использование И-карты на уроках обобщающего повторения по математике и информатике реализует две основные цели обучения, способствуя успешной подготовке к экзаменам: актуализация теоретического материала и практическое применение для решения

конкретных задач по определённой теме [2, с. 46-58].

Математика представляет информацию большей частью в формализованном, символическом виде, что требует особых навыков, порой нестандартных приемов и методов. Большое значение в ней имеет запоминание формул,

таблиц, числовых данных. А для этого школьнику необходимы новые технологии для запоминания, сохранения и воспроизведения информации, что и составляет основу мнематики. Традиционные методы запоминания, сводящиеся к механическому заучиванию, в стремительно растущем информационном пространстве уже не работают. Причина, которая заставила обратиться к мнемотехнике, ограниченные возможности учеников, которых пугают объемные логические рассуждения. Под

мнемотехникой понимается искусство запоминания, облегчающее запоминание путем образования искусственных ассоциаций. В мнемотехнике используется широкий спектр приемов для запоминания информации, каждый из которых может быть подобран индивидуально для каждого обучающегося. В настоящее время даже актуальна потребность в разработке данных техник. На рисунке ниже отражены часто используемые мнемотехники на уроках математики.

Зрительные образы

Для примера разберем уравнение:

$$5x + 3x - 64 = 0$$

Нам нужно перенести слагаемое из одной части в другую, но для этого поменять знак на противоположный. Можно упростить запоминание через образ. Представим, что знак «=» — это граница между государствами. Когда одно число переходит границу, оно вынуждено поменять знак, чтобы не возникло проблем.

Подсчет длины слов во фразе

Способ не самый удобный для запоминания, но пригодится, если надо вспомнить точную информацию, например число Пи. Суть метода в том, что каждая цифра равна числу букв в определенной фразе. И вместо заучивания сложного и длинного числа школьнику нужно зафиксировать в памяти только короткую фразу.

Число Пи = 3,14159265358

- Округленное число можно запомнить через фразу: «Что я знаю о кругах?».

Что (3) я (1) знаю (4) о (1) кругах (6). Получается = 3,1416.

- Полное число заучиваем через фразу: «Это я знаю и помню прекрасно: Пи многие знаки мне лишни, напрасны».

Комбинация приемов

К некоторым математическим правилам можно применять пару техник и выбирать понравившийся вариант. Рассмотрим на примере правила деления и умножения отрицательных и положительных чисел.

$$\begin{matrix} + \cdot + = + & + : + = + \\ - \cdot - = + & - : - = + \end{matrix}$$

При умножении и делении чисел с одинаковыми знаками получается положительное число

$$\begin{matrix} + \cdot - = - & + : - = - \\ - \cdot + = - & - : + = - \end{matrix}$$

При умножении и делении чисел с разными знаками получается отрицательное число

Способ 1. Представляем знак «+» как друга, «-» — как врага.

- **Друг моего друга — мой друг.**
+ * + = +
- **Враг моего врага — мой друг.**
- * - = +
- **Друг моего врага — мой враг.**
+ * - = -
- **Враг моего друга — мой враг.**
- * + = -

Способ 2. Задаем вопрос: «Одинаковые ли знаки?». Если да, то произведение или частное будет положительным. Если отвечаем нет, значим, итог пишем со знаком минус.

Рис. 3. Специальные приемы для запоминания информации

Приемы мнемотехники основываются на использовании природных возможностей переноса информации в блок долговременной памяти и установлении соответствующих сигналов, которые позволяют быстро и успешно найти информацию [1, с. 31-36].

Таким образом, соответствующие технологии позволяют существенно экономить время на освоения предмета, что весьма важно сегодня, когда существенно сокращается время, предусмотренное на аудиторные занятия, и увеличивается требования к самостоятельности, самоорганизации, самообучение, самоконтроль.

Литература

1. Винаева Е.А. Принципы использования приемов мнемотехники в образовательном процессе младших школьников // Современная образовательная среда: теория и практика. – 2018. – С. 31-36.
2. Иванова О.В. Интерактивные интеллект-карты как средство обобщения учебной информации // Школьные технологии. – 2018. – №. 1. – С. 46-58.
3. Решетова З.А. Психологические основы профессионального образования. – М.: Изд-во Московского университета, 1985. – 207 с.

VILKINA Angelina Leonidovna

Mathematics Teacher, MBOU Secondary School No. 16, Russia, Chistopol

DEVELOPMENT OF NONLINEAR THINKING BASED ON THE IMPLEMENTATION OF A SYSTEMATIC APPROACH, VISUALIZATION AND MNEMONICS IN MATHEMATICS LESSONS

Abstract. *The purpose of this article is to study and substantiate the effectiveness of the formation of meta-subjective skills in schoolchildren through the introduction of a systematic approach and modern educational technologies. The methods include the application of a systematic structure of educational materials, the development of smart maps and the introduction of mnemonic techniques to improve the perception and processing of information by students.*

The method of achieving the goal is the organization of the educational process according to the principles of a systematic approach developed by T. T. Galiev, which includes the active involvement of students in the process of analysis, synthesis and independent processing of educational information.

The result of the conducted research was the identification of a significant increase in the level of cognitive activity, the development of critical thinking and self-regulation abilities among students who were trained using this method. Students learned to independently search for necessary information, solve assigned tasks, and develop self-correction and self-assessment skills.

The conclusions emphasize the need to integrate innovative approaches into the traditional school education system for the effective development of meta-competencies among schoolchildren, allowing them to successfully adapt to a rapidly changing information space.

Keywords: *meta-subject skills, a systematic approach to learning, technology of T. T. Galiev, intensification of learning, systemic thinking, structuring of educational material, block-system representation.*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

АНТОНЕНКОВ Арсений Сергеевич

студент,

Смоленский филиал Национального исследовательского университета «МЭИ»,
Россия, г. Смоленск

Научный руководитель – доцент кафедры оптические и оптико-электронные приборы и комплексы Смоленского филиала Национального исследовательского университета «МЭИ», кандидат технических наук Жбанова Вера Леонидовна

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТИВОВ ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА

Аннотация. Статья посвящена разработке и исследованию объективов для инфракрасного диапазона спектра.

Ключевые слова: объектив, инфракрасный спектр, абберация.

Разработка высококачественных оптических систем для инфракрасного (ИК) диапазона спектра (0,75–14 мкм) является одной из приоритетных задач современного приборостроения, обусловленной растущими требованиями в военной технике, медицинской диагностике, системах безопасности и дистанционного

зондирования Земли. В отличие от видимого диапазона, где широко применяются стандартные оптические стёкла, проектирование ИК-объективов требует использования специализированных материалов, обладающих высокой прозрачностью именно в длинноволновой области спектра.

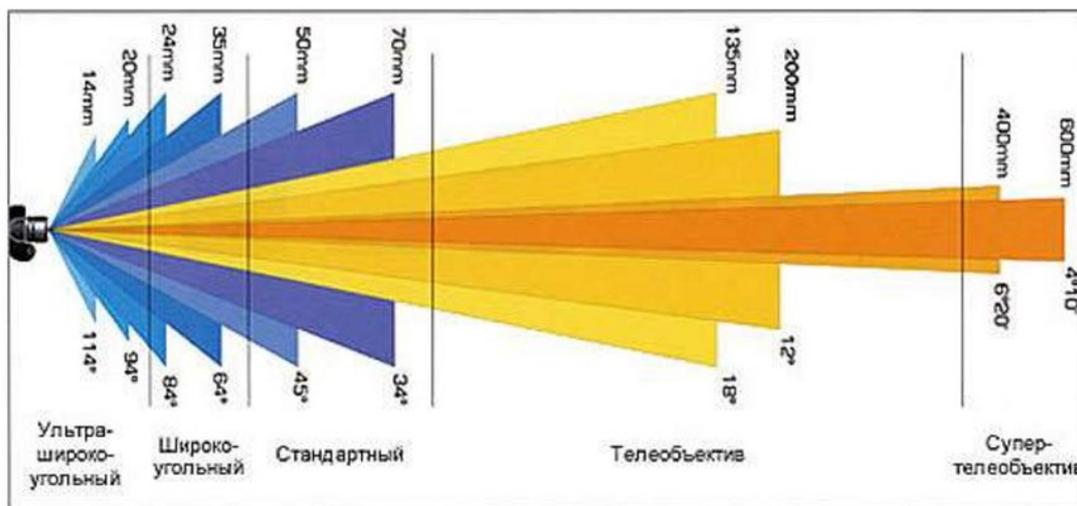


Рис. 1. Схема различных типов объективов для ик-спектра

Наиболее распространенными среди них являются германий (Ge), кремний (Si), фторид кальция (CaF₂) и халькогенидные стёкла. Германий, благодаря своему высокому показателю

преломления (~4,0) и отличной прозрачности в диапазоне 2–14 мкм, активно используется в тепловизионных системах, работающих в длинноволновом ИК-диапазоне (8–12 мкм),

который является основным для наблюдения за тепловыми объектами при комнатной температуре.

Однако его значительная термооптическая нестабильность, сильная зависимость показателя преломления от температуры, делает необходимым применение мер пассивной или активной термостабилизации. Кремний, в свою очередь, находит применение в среднем-волновом диапазоне (3–5 мкм), где он демонстрирует хорошую прозрачность и механическую прочность при относительно низкой стоимости, что делает его привлекательным для массовых систем. Фторид кальция ценится за низкую дисперсию и широкий диапазон прозрачности (от ультрафиолета до 9 мкм), что

позволяет эффективно использовать его в двухдиапазонных объективах, совмещающих работу в 3–5 мкм и 8–12 мкм. Халькогенидные стёкла открывают новые возможности для серийного производства сложных оптических элементов, включая асферические поверхности, методом горячего прессования, что значительно снижает себестоимость и повышает технологичность сборки. Современные ИК-объективы подразделяются на рефракционные, термостабилизированные и двухдиапазонные. Рефракционные системы строятся на основе комбинации линз из различных материалов и обеспечивают высокое качество изображения при условии точной коррекции аберраций.



Рис. 2. Термостабилизированные объективы

Термостабилизированные объективы проектируются с учётом компенсации термических деформаций, что особенно важно для приборов, эксплуатируемых в экстремальных климатических условиях, например, в прицелах типа ТКН-4ГА, предназначенных для работы при температурах от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Такая стабилизация достигается либо за счёт подбора материалов с противоположными знаками термооптического коэффициента, либо за счёт механических компенсаторов, изменяющих положение элементов при нагреве. Двухдиапазонные объективы представляют собой универсальные решения, способные функционировать одновременно в двух ключевых ИК-

диапазонах, что расширяет их функциональность и позволяет использовать один прибор как днём, так и ночью.

Коррекция аберраций, сферической, хроматической и комы, является центральной задачей при проектировании ИК-оптики. Одним из наиболее эффективных методов является использование асферических поверхностей, которые позволяют устранить сферическую аберрацию без увеличения числа оптических элементов, тем самым упрощая конструкцию и снижая вес и стоимость системы. Кроме того, комбинирование материалов с различными дисперсионными свойствами (например, Ge и CaF_2) позволяет минимизировать хроматизм.



Объектив	Canon EF 35-350 мм f/3,5-5,6L USM	Nikkor AF 28-200 мм f/3,5-5,6D IF	SMC-Pentax FA 28-200 мм f/3,8-5,6 AL [IF]	Sigma AF 28-300 мм f/3,5-6,3 DL Asph. IF HZ	Tamron AF 28-200 мм f/3,8-5,6 LD Asph. [IF] Super	Tamron AF 28-300 мм f/3,5-6,3 LD Asph. [IF]
Фок. расстояние, мм*	35,9–334,8	28,5–190,3	29,3–199,1	28,8–285,9	28,6–191,9	28,6–287,7
Элементов × групп	21 × 15	16 × 13	16 × 14	18 × 16	16 × 14	15 × 14
Угол поля зрения	63°–7°	74°–12°20'	75°–12°30'	75°24'–8°12'	75°–12°30'	76°–8°20'
Мин. диафрагма	22–32	22–32	22–32	22–32	22–32	22–40
Мин. дистанция, м	0,6 (на 135 мм)	2 (макро: 0,85–1,5)	0,52	0,83–1,17	0,8 (200 мм)	0,61 (200 мм)
Ø фильтров, мм	72	72	72	72	72	72
Длина × Ø, мм	167,4 × 85	86,5 × 78	78 × 83	92,6 × 79,1	82 × 78	93,6 × 80,4
Вес, г	1385	520	466	575	465	570
Цена, \$**	2200	610	400	320	370	420

* Измеренное при тестировании.
 ** Примерная цена на новые объективы.

Рис. 3. Сравнительная таблица оптических характеристик объективов

Пассивная атермализация, при которой изменения фокусного расстояния вследствие нагрева компенсируются взаимно, также играет ключевую роль в обеспечении стабильности характеристик. Таким образом, эффективное проектирование ИК-объективов требует комплексного подхода, сочетающего глубокое понимание физических свойств материалов, методов абберационной коррекции и требований конкретного приложения. Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых поколений отечественных тепловизионных систем, а также способствовать снижению зависимости от импортных компонентов и развитию собственных технологий в области инфракрасной оптики.

Литература

1. Грейсух Г.И., Ежов Е.Г., Левин И.А. Компонировка и расчёт двухдиапазонного атермального рефракционно-линзового ИК-объектива // Компьютерная оптика. – 2022. – Т. 46, № 2.
2. Парфёнова Т.В., Хацевич Т.Н. Двухдиапазонные объективы для инфракрасной области спектра // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2011.
3. Корсаков А.С. и др. Новые функциональные материалы ИК-диапазона: структура, свойства, применение // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – № 9.
4. Кузичев В.И. Линзовый светосильный объектив для инфракрасной области спектра // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 10.

ANTONENKOV Arseniy Sergeevich

Student, Smolensk Branch of the National Research University "MEI", Russia, Smolensk

*Scientific Advisor – Associate Professor of the Department of Optical and Optoelectronic Devices and Complexes of the Smolensk Branch of the National Research University "MEI",
 Candidate of Technical Sciences Zhanova Vera Leonidovna*

ANALYSIS OF MATERIALS AND LENS CONSTRUCTIONS FOR THE INFRARED RANGE

Abstract. This article focuses on the development and research of lenses for the infrared spectrum.

Keywords: lens, infrared spectrum, aberration.

АНТОНЕНКОВ Арсений Сергеевич

студент,

Смоленский филиал Национального исследовательского университета «МЭИ»,
Россия, г. Смоленск

Научный руководитель – доцент кафедры оптические и оптико-электронные приборы и комплексы Смоленского филиала Национального исследовательского университета «МЭИ», кандидат технических наук Жбанова Вера Леонидовна

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФРАКРАСНЫХ ОБЪЕКТИВОВ
В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ZEMAX**

Аннотация. Статья посвящена моделированию и оптимизации инфракрасных объективов в программе ZEMAX.

Ключевые слова: объектив, инфракрасный спектр, ZEMMAX, моделирование, оптимизация.

Разработка высококачественных инфракрасных (ИК) объективов для современных оптико-электронных систем невозможна без применения передовых методов компьютерного моделирования, которые позволяют не только проектировать сложные оптические схемы, но и точно прогнозировать их характеристики ещё до изготовления опытного образца.

В данной работе проведено моделирование трёх объективов специального назначения, предназначенных для использования в комбинированном двухканальном дневно-ночном зенитном прицеле ТКН-4ГА-01, устанавливаемом на бронетехнику типа БТР-80 и его модификации.

№ поверхности	R1,2, мм	Марка стекла	d, мм	Примечания
1	106.66	ТК21	11,7	λ = 656,3 нм; t = 5 мм; D _{ад} = 78,6 мм; f'об = 139,841 мм; s'F=26,632 мм; sF=-136,783 мм; 2ω=7,2.
2	-1127.20		2,1	
3	106.66	ЛК3	24,3	
5	-269.8	ТФ4	8,9	
6	177.42		16,7	
7	1499.7	ТК21	9,8	
9	-71.94	ТФ4	3,0	
10	175.79		31,2	
11	26.55	ТК21	14,55	
12	18.072		10,1	
13	57.81	ТФ4	4,0	
14	385.5		-	

Рис. 1. Параметры и характеристики ОС объектива-аналог

Все три объектива работают в ближнем инфракрасном диапазоне (0,75–1,0 мкм) и отличаются угловым полем: ±46°, ±32° и ±20°, что обуславливает различия в их фокусных расстояниях (50 мм, 80 мм и 110 мм соответственно), диаметрах апертурной диафрагмы (42 мм, 26 мм и 18 мм) и габаритах.

Моделирование выполнялось в программной среде ZEMAX в последовательном режиме (Sequential mode), который является стандартным инструментом для проектирования изображающих оптических систем.

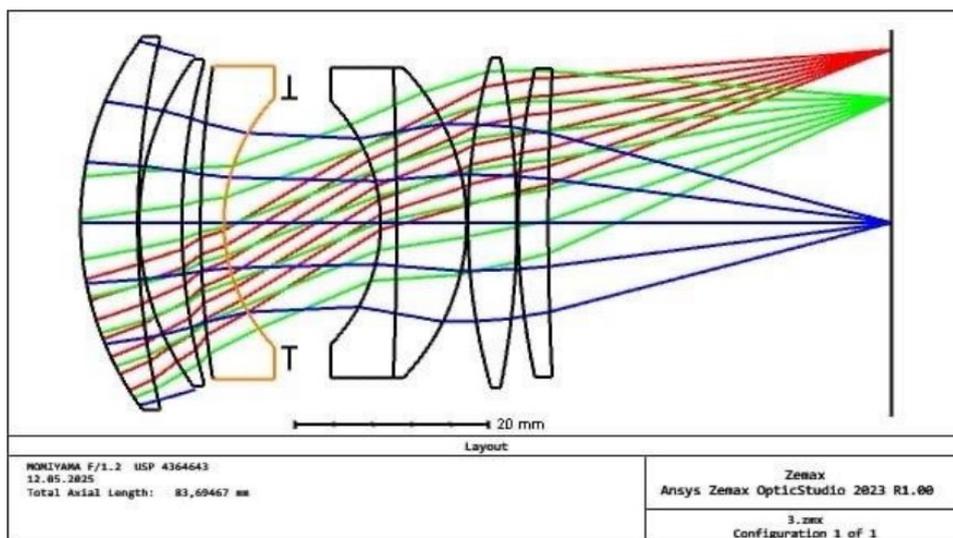


Рис. 2. Оптическая система

На первом этапе в редакторе Lens Data Editor были введены исходные конструктивные параметры каждого объектива: радиусы кривизны всех поверхностей, толщины линз, воздушные промежутки, марки используемых стёкол (в основном отечественные марки ТК21, ЛК3 и

ТФ4), а также спектральный диапазон и угловое поле. После построения начальной модели проводился предварительный анализ параксиальных характеристик и aberrаций, включая сферическую aberrацию, кривизну плоскости изображения, дисторсию и пятно рассеяния.

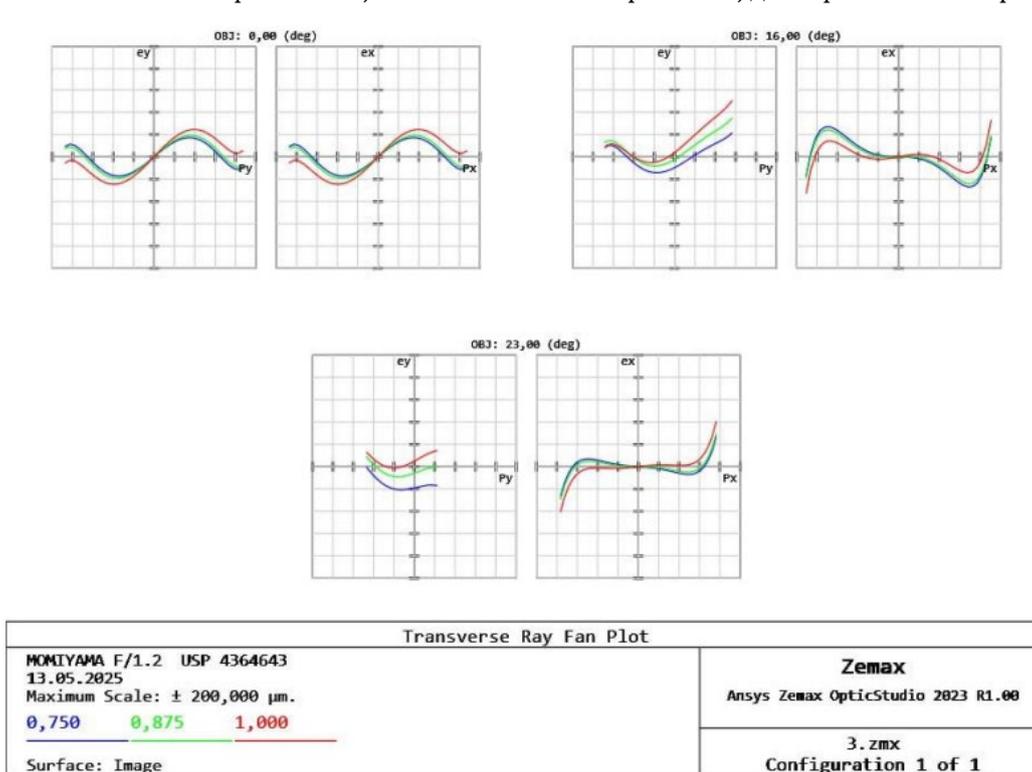


Рис. 3. Аберрация

Результаты показали, что все три системы демонстрируют значительные остаточные aberrации, особенно сферическую, что снижает разрешающую способность и не соответствует требованиям технического задания, предъявляемым к прицельным системам военного назначения. Для улучшения оптических

характеристик была применена процедура оптимизации с использованием асферических поверхностей второго порядка. Замена сферических поверхностей на асферические позволяет скорректировать сферическую aberrацию без увеличения числа оптических элементов, что особенно важно для ИК-систем, где каждый

дополнительный компонент вносит потери из-за отражений и поглощения, а также усложняет юстировку и повышает стоимость. В ZEMAX это реализуется путём задания конической постоянной (conic constant) и коэффициентов асферичности в свойствах поверхности. Оптимизация проводилась с использованием оценочной функции (Merit Function), включающей

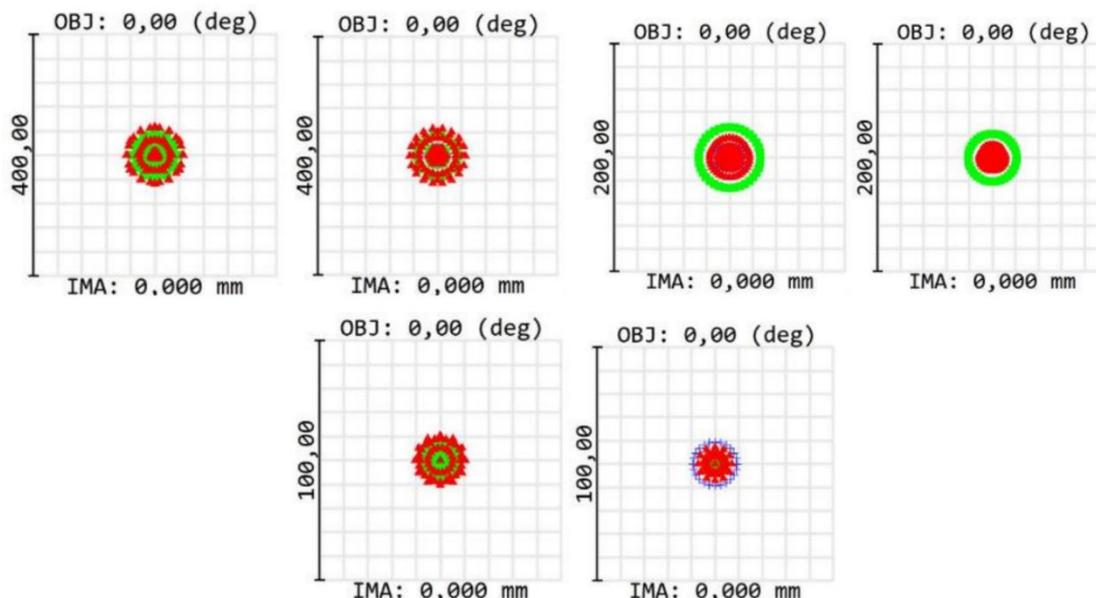


Рис. 4. Сферическая абберация 1, 2, 3 ОС до и после оптимизации

По результатам оптимизации во всех трёх объективах наблюдалось снижение сферической абберации: в первой системе – на 3,251 мкм (с 12,476 до 9,225 мкм), во второй – на 1,806 мкм (с 6,084 до 4,278 мкм), в третьей – на 0,676 мкм (с 25,803 до 25,127 мкм). Наибольший эффект достигнут во второй оптической системе, которая продемонстрировала не только минимальные остаточные абберации, но и наиболее компактную конструкцию, что делает её предпочтительной для применения в условиях ограниченного пространства, характерного для бронетехники. Также было отмечено уменьшение диаметра пятна рассеяния, что напрямую влияет на разрешающую способность прибора и точность наведения. Важно отметить, что выбор именно ближнего ИК-диапазона (0,75–1,0 мкм) обусловлен спецификой работы прицела ТКН-4ГА в пассивном ночном режиме при освещённости от $1 \cdot 10^{-3}$ лк и ниже, когда используется собственное тепловое излучение объектов или подсветка ИК-прожектором. Условия эксплуатации прибора крайне жёсткие: температура от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$, влажность до 98%, вибрации и ударные нагрузки, что требует не только высокого качества оптики, но и её термомеханической стабильности. Хотя в

операнд EFL для фиксации фокусного расстояния и другие цели, направленные на минимизацию волновой и поперечной аббераций. Процесс был выполнен в автоматическом режиме с последующей ручной корректировкой параметров для достижения наилучшего компромисса между качеством изображения и технологичностью изготовления.

рамках данной работы термостабилизация не моделировалась, использование отечественных стёкол и асферических поверхностей уже на этапе проектирования закладывает основу для дальнейшей пассивной атермализации. Таким образом, применение программного моделирования в ZEMAX в сочетании с методами параметрической оптимизации и асферизации поверхностей позволяет значительно повысить качество ИК-объективов без усложнения их конструкции. Полученные результаты подтверждают эффективность данного подхода и могут быть использованы при разработке новых поколений отечественных тепловизионных и прицельных систем, отвечающих современным требованиям по точности, надёжности и устойчивости к экстремальным условиям эксплуатации, а также способствуют снижению зависимости от импортных компонентов в области оптоэлектроники оборонного назначения.

Литература

1. Грейсух Г.И., Ежов Е.Г., Левин И.А. Компоновка и расчёт двухдиапазонного атермального рефракционно-линзового ИК-объектива // Компьютерная оптика. – 2022. – Т. 46, № 2.

2. Васильев В.Н., Дмитриев И.Ю., Муравьев В.А., Ежова К.В. Оптическая система инфракрасного диапазона с функцией активной фокусировки // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. 2.

3. Юшков Т.А., Киселев М.В., Фесько Ю.А., Шелковой Д.С. Обзор зарубежных и отечественных вариосистем инфракрасного диапазона // Интерэкспо ГеоСибирь. 2016.

4. Парфёнова Т.В., Хацевич Т.Н. Двухдиапазонные объективы для инфракрасной области спектра // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2011.

5. Корсаков А.С. и др. Новые функциональные материалы ИК-диапазона: структура, свойства, применение // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – № 9.

6. Кузичев В.И. Линзовый светосильный объектив для инфракрасной области спектра // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 10.

ANTONENKOV Arseniy Sergeevich

Student, Smolensk Branch of the National Research University "MEI", Russia, Smolensk

*Scientific Advisor – Associate Professor of the Department of Optical and Optoelectronic Devices and Complexes of the Smolensk Branch of the National Research University "MEI",
Candidate of Technical Sciences Zhbanova Vera Leonidovna*

MODELING AND OPTIMIZATION OF INFRARED LENSES IN THE ZEMAX PROGRAM ENVIRONMENT

Abstract. *This article focuses on the modeling and optimization of infrared lenses using the ZEMAX software.*

Keywords: *lens, infrared spectrum, ZEMMAX, modeling, optimization.*

КАРПОВА Валентина Александровна

студентка,

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова,
Россия, г. Санкт-Петербург

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОГО МЕТОДА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ АНТЕНН В ANSYS HFSS

Аннотация. Статья посвящена применению гибридного метода численного моделирования для эффективного анализа рупорно-линзовой антенны в среде программного обеспечения ANSYS HFSS. Рассматривается проблема моделирования крупногабаритных антенных систем, где прямое применение объемных методов требует чрезмерных вычислительных затрат. В работе представлен практический алгоритм проектирования РЛА СВЧ-диапазона с целевым коэффициентом усиления 45 дБ.

Ключевые слова: моделирование, линзовая антенна, численные методы, ANSYS HFSS, гибридный метод, метод конечных элементов.

Физическое прототипирование и тестирование на последних стадиях разработки часто выявляют проблемы, устранение которых требует дорогостоящих доработок. Поэтому центральное место в современной инженерной практике занимает компьютерное моделирование, основанное на численных методах решения уравнений Максвелла. Эти методы позволяют с высокой точностью прогнозировать электромагнитное поведение системы на ранних этапах проектирования, минимизируя риски и издержки.

Особую сложность для анализа представляют собой крупногабаритные электродинамические структуры, такие как рупорно-линзовые антенны (РЛА), сочетающие в себе элементы с субволновыми деталями (облучатель, фидер) и крупные излучающие поверхности (линза). Применение единого объемного метода (например, метода конечных элементов – МКЭ) для моделирования всей системы зачастую приводит к большим требованиям к вычислительным ресурсам. Эффективной альтернативой является использование гибридных методов, которые комбинируют разные численные подходы для анализа различных частей модели, что обеспечивает оптимальный баланс между точностью и скоростью расчета.

Целью работы является моделирование и анализ рупорно-линзовой антенны СВЧ-диапазона с высоким коэффициентом усиления (45 дБ) с применением гибридного метода решения в среде ANSYS HFSS. В ходе исследования были определены тип и геометрические

параметры диэлектрической линзы и пирамидального облучателя, разработана и верифицирована 3D-модель антенны, а также проанализированы ее результирующие характеристики.

Как было отмечено ранее, прямое применение МКЭ ко всей модели РЛА, несмотря на его высокую точность, сталкивается с проблемой чрезмерных вычислительных затрат. Именно для преодоления этого ограничения в HFSS реализован мощный аппарат гибридных методов, позволяющий назначать различным областям модели разные численные алгоритмы, оптимальные для их геометрии и электродинамических свойств. Этот подход является логическим развитием базовых преимуществ HFSS и ключевым инструментом для выполнения поставленной задачи моделирования крупногабаритной РЛА.

В рассматриваемом проекте была применена стратегия декомпозиции:

1. Был применен метод FE-BI (Finite Element – Boundary Integral) для рупорного облучателя. Рупор был смоделирован в отдельном проекте с использованием гибридной модальной сети и граничного условия FE-BI. Этот метод идеально подходит для компактных, но сложных по форме объектов с металлическими и диэлектрическими частями. Он с высокой точностью рассчитывает поле вблизи и внутри конструкции рупора (включая область волнового перехода), в то время как метод интегральных уравнений (IE), применяемый на внешней границе радиационного бокса, эффективно вычисляет излучение в открытое

пространство. Такое разделение не только повышает точность расчета диаграммы направленности облучателя, но и существенно экономит ресурсы по сравнению с чисто объемным МКЭ-расчетом всего окружающего пространства. Результат сохраняется и импортируется как источник для последующего моделирования полной системы.

2. Моделирование диэлектрической линзы. Для неё был назначен решатель на основе метода интегральных уравнений (IE-Region), что является ключевым для эффективности всего процесса. Поскольку линза представляет собой крупное, но геометрически и материально однородное тело, её электромагнитное поведение в основном определяется процессами на поверхности (преломлением и отражением). IE-метод, формулирующий задачу только на границах объекта, кардинально сокращает количество неизвестных по сравнению с необходимостью построения объемной конечно-элементной сетки, заполняющей весь диэлектрик. Это приводит к значительной экономии оперативной памяти и сокращению времени предварительного анализа.

3. Интеграция компонентов и финальный анализ с гибридным модальным решателем (Driven Modal). На финальном этапе ранее созданные модели – рупорный облучатель (решение, полученное с помощью FE-BI) и линза (IE-модель) – были объединены в единый проект. Ключевая роль решателя Driven Modal в данном гибридном подходе заключается в следующем:

- Управление источниками. Он использует импортированное поле или S-матрицу рупорного облучателя в качестве точного модального источника возбуждения.
- Координация методов. Решатель связывает модель облучателя с поверхностью линзы, описанной IE-методом. Он обеспечивает правильное проецирование падающего поля от облучателя на линзу и рассчитывает полное переизлученное поле системы.
- Учет взаимодействия. Такой подход позволяет полноценно учесть взаимное влияние компонентов: затенение облучателя линзой, переотражения между ними и эффект рас-согласования, что критически важно для точного прогнозирования итоговых характеристик (КУ, формы ДН, уровня боковых лепестков).

Техническая реализация и валидация подхода. Критически важным этапом является настройка параметров адаптивного процесса.

Согласно техническому заданию, диапазон частот работы РЛА должен составлять от 6 до 7 ГГц.

Выберем частоту адаптации – 6,5 ГГц. Это частота, на которой HFSS проводит адаптивное сгущение сетки для достижения заданной точности, т. е. это не значит, что расчет ведется только на этой частоте. Процесс адаптации сетки оптимизирован именно для этой частоты.

Количество точек расчета (Count) равно 401. Это означает, что HFSS рассчитывает антенну на 401 частоте в диапазоне от 6 до 7 ГГц.

Type – Interpolating. Это специальный тип частотной развертки, который сначала рассчитывает модель на небольшом количестве опорных частот, затем интерполирует (доставляет) результаты для всех остальных точек.

Увеличение точек расчета приводит к значительному замедлению расчета, но графики получаются более гладкими и детализированными. Можно различить очень узкие резонансные пики или провалы при их наличии.

Небольшое количество точек (например, 21) приводит к более «угловатым» графикам. Можно пропустить очень узкие особенности поведения антенны, но общая картина будет видна хорошо.

Для стандартного анализа 51–101 точек достаточно. Это даст плавные и точные графики, при этом время расчета сократится в 4–8 раз.

Размер элементов сетки определяется относительно длины волны λ . Начальная сетка строится с размером элемента $\lambda/2$ или $\lambda/3$ в зависимости от геометрии.

Адаптивное сгущение сетки происходит до тех пор, пока S-параметры не сойдутся с заданной точностью именно на этой частоте.

Максимальное количество итераций – 6. HFSS будет выполнять последовательные проходы расчета, на каждом из которых:

- строится сетка (на первом проходе грубая);
- решается задача;
- оценивается ошибка решения на основе невязки или изменения S-параметров;
- сетка автоматически сгущается в областях с высокой ошибкой;
- процесс повторяется.

Чем больше проходов совершается, тем более сгущенная и оптимальная сетка, и тем выше точность. Недостаток не позволит добиться сходимости, избыток ведёт к нерациональным затратам ресурсов.

Если решение не сошлось за 6 проходов, расчет остановится. Это защищает от бесконечного цикла.

Критерий сходимости по S-параметрам – 0,1. Стандартное значение составляет 0,02, но, учитывая размеры линзы, он был намеренно уменьшен.

Адаптивный процесс остановится тогда, когда максимальное изменение модуля любого S-параметра между двумя последовательными проходами будет меньше 0,1.

Расчет может завершиться на 4-м или 5-м проходе, если изменение S уже меньше 0,02, даже если изначально заданное количество итераций 6.

Статус решения CONVERGED говорит о том, что решение сошлось, т. е. симуляция успешно завершилась с заданной точностью.

В результате моделирования РЛА была достигнута сходимость решения. Фактический критерий сходимости достиг 0,06. Задача была завершена на втором проходе, т. к. достигла критерия сходимости, раньше заданного в настройках. Количество решенных элементов составило 307747.

Коэффициент усиления рупорно-линзовой антенны также был достигнут и составил 45,5 дБ. Ширина ДН по уровню – 3 дБ равна 0,38 град. Боковые и задние лепестки находятся в пределах нормы.

На рисунке представлена ДН РЛА в прямоугольной системе координат с выделением точек максимума ДН, УБЛ, и задних лепестков.

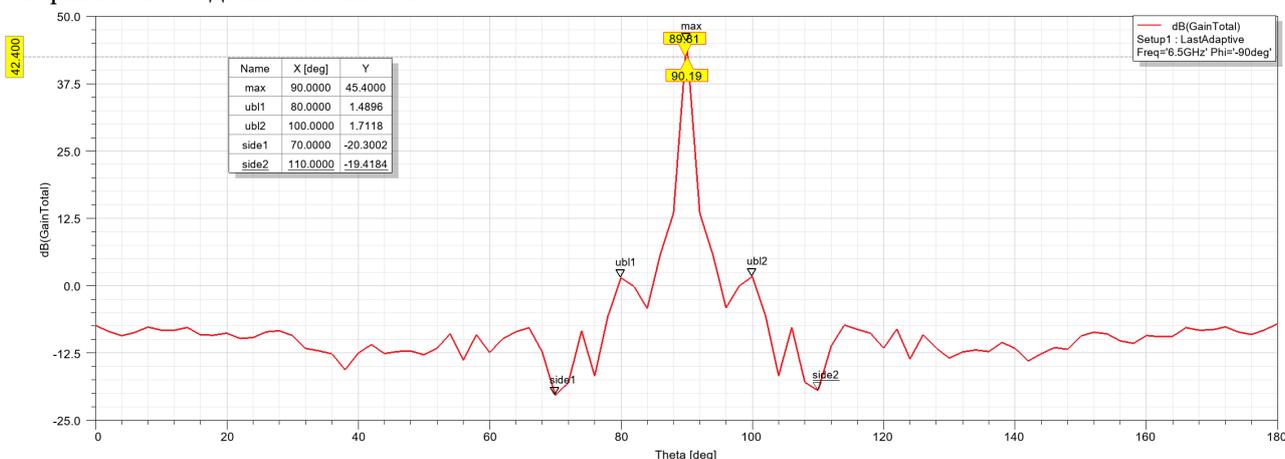


Рис. Диаграмма направленности РЛА в прямоугольной системе координат

KARPOVA Valentina Aleksandrovna

Student,

Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D. F. Ustinov,
Russia, St. Petersburg

APPLICATION OF THE HYBRID METHOD IN ANTENNA MODELING IN ANSYS HFSS

Abstract. The article is devoted to the application of a hybrid numerical modeling method for effective horn-lens antenna analysis in the ANSYS HFSS software environment. The problem of modeling large-scale antenna systems is considered, where the direct application of volumetric methods requires excessive computational costs. The paper presents a practical algorithm for designing a microwave range radar with a target gain of 45 dB.

Keywords: modeling, lens antenna, numerical methods, ANSYS HFSS, hybrid method, finite element method.

ПАЩЕНКО Юлия Алексеевна

студентка,

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, г. Санкт-Петербург

*Научный руководитель – доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета,
кандидат технических наук Анишукова Екатерина Аркадьевна*

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются схемы резервирования, требования стандартов и анализ распределения температурных полей в различных режимах работы при проектировании холодоснабжения центров обработки данных.

Ключевые слова: ЦОД, серверное помещение, резервирование, температурные поля, ИТ-оборудование, кондиционирование, моделирование.

Введение

Важным аспектом для современных центров обработки данных (ЦОД) является надежная система и бесперебойное электропитание. Отказ холодильных установок в серверном помещении может привести к перегреву оборудования и простоям, наносящим серьезный ущерб, поэтому для дата-центров высокой категории надежности (например, Tier II-III) [1] предусматривается резервирование мощности охлаждения по схеме N+1. Это означает дублирование холодильных установок и всех ее составляющих как минимум одним аналогичным

резервным блоком, что позволяет проводить плановое обслуживание без остановки работы ЦОД.

Требования стандартов

Международный стандарт [2, 3] напрямую требует резервирования и отказоустойчивости инженерных систем ЦОД. Также существует стандарт, где прописаны степени отказоустойчивости и резервирования по уровням Tier I–IV [1]. Рассмотрим данные по классификации уровней надежности ЦОД, приведенные в таблице.

Таблица

Классификация уровней надежности центра обработки данных

	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV
Резервирование оборудования	нет	N+1	N+1/2N	2(N+1)
Возможность обслуживания без остановки	нет	нет	да	да

Таким образом в зависимости от уровня проектируемого ЦОД (малый, средний, крупный и т. п.) выбирается оптимальная схема резервирования. В статье рассматривается уровень надежности Tier II.

Схемы резервирования охлаждения

На сегодняшний день при проектировании дата-центров применяется несколько основных схем резервирования при проектировании

системы холодоснабжения в ЦОД: N, N+1, 2N, 2(N+1) и т. п. N обозначает количество рабочих единиц оборудования, необходимое для обеспечения 100% расчетной холодопроизводительности. Дополнительное число сверх N обозначают резерв на случай отказа или вывода из работы основного оборудования. Основное правило – чем выше степень резервирования, тем лучше и выше отказоустойчивость, но

минусом является рост стоимости системы и потенциальное снижение энергоэффективности.

Анализ распределения температур

Наилучшим методом анализа таких ситуаций служит моделирование, где можно наглядно увидеть возможные горячие точки, перегревы и убедиться, что при аварии (выход из строя одного кондиционера) не повлияет на бесперебойную работу ЦОД и нормируемая температура не выйдет за пределы допустимых значений.

Для анализа распределение температур моделируется две ситуации:

1. Работа кондиционеров без резервирования (N);
2. Работа кондиционеров по схеме резервирования (N+1).

Для обеспечения равномерного охлаждения ИТ-оборудования в серверном помещении применим схему «изолированного холодного коридора». В модели рассматривается 3 кластера изолированных коридоров. Каждый кластер имеет конфигурацию двух рядов стоек, обращенные лицевыми сторонами друг к другу. Между рядами расположен холодный коридор, который закрыт сверху панелями для предотвращения смешивания холодного воздуха в

проходе с горячим воздухом, выходящим с задней стороны шкафов. Тепловая нагрузка на каждую стойку составляет 11 кВт, соответственно тепловыделения для проектируемых 66 стоек будет составлять 726 кВт. Эти тепловыделения должны отводиться системой кондиционирования и обеспечить нормируемые параметры микроклимата.

Система кондиционирования запроектирована таким образом, что на 1 работающий кластер холодного коридора предусмотрено 4 кондиционера (два сверху и два снизу). Подача холодного воздуха в коридор происходит через фальшпол. Мощность холодильных установок рассчитана на работу по схеме резервирования N+1.

Ситуация № 1

Рассмотрим первый вариант, когда система холодоснабжения запроектирована без резервирования (N). В данной схеме резерв холодильной установки отсутствует, и система охлаждения установлена ровно в количестве, которое необходимо для охлаждения проектируемого помещения. В работе все 4 прецизионных кондиционера на один кластер. На рисунке 1 показаны температурные поля на отметке +1.000 рабочей зоны (середина стойки).

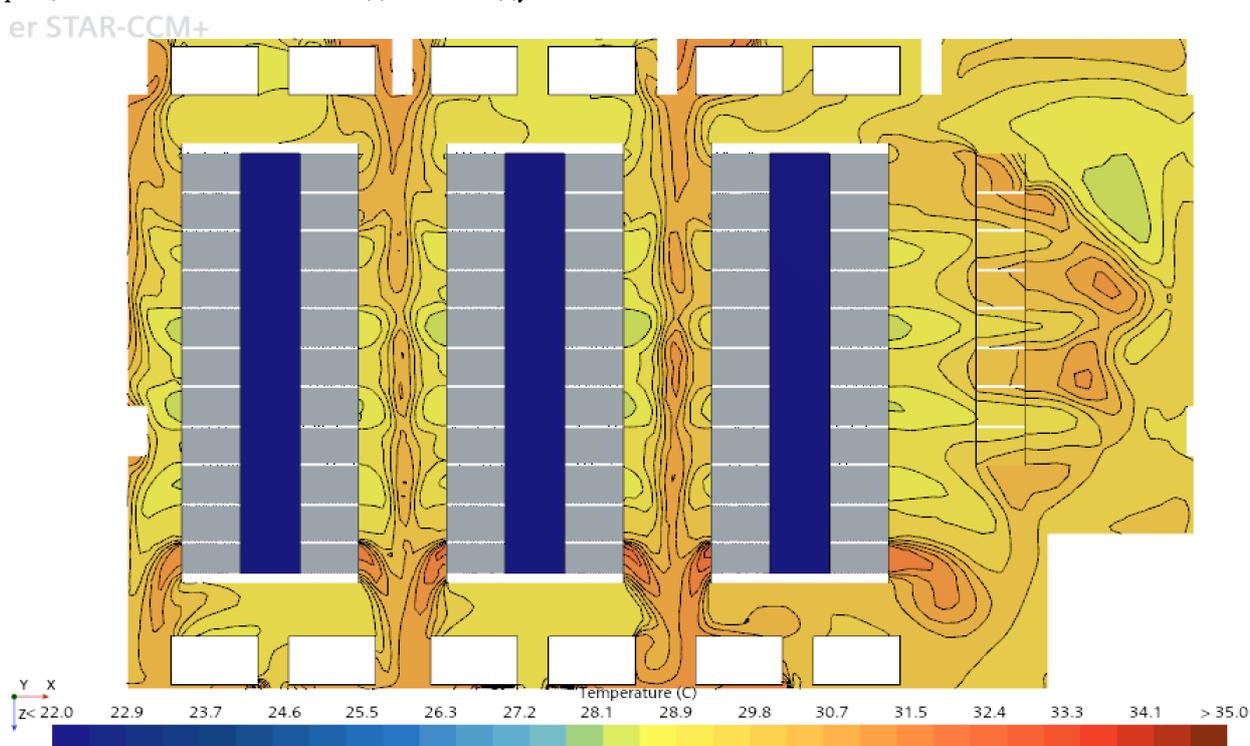


Рис. 1. Температурные поля на отм. +1.000 (рабочая зона) без резервирования

Также приведем вертикальное сечение 1-1 на рисунке 2.

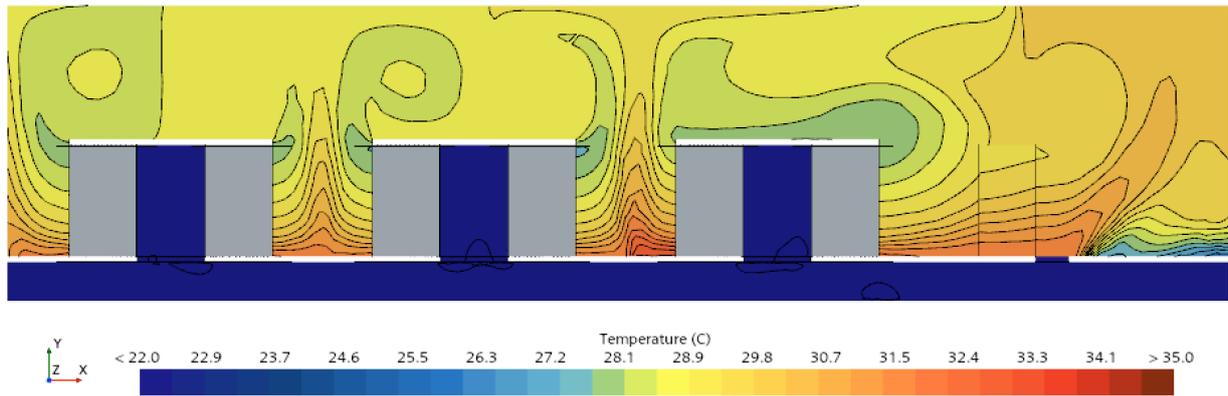


Рис. 2. Поле температур, вертикальное сечение 1-1 без резервирования

Температура воздуха на входе каждой стойки (у передней дверцы серверного шкафа) в холодном коридоре равняется 22°C. На выходе из стоек температура наружного воздуха в диапазоне от 28–30°C, что соответствует допустимому диапазону для А2 класса [3]. Также видно, что по вертикальному и горизонтальному сечению распределение температуры в помещении ЦОД равномерное.

Плюсами такой конфигурации является равномерность распределение воздушных потоков и меньше риск локальных перегревов, однако нет никакого резерва, что не соответствует стандартам по классификации надежности [1], а значит невозможность бесперебойной работы ЦОД и данная конфигурация не является достаточно надежной. В случае аварийной

ситуации снижается холодопроизводительность, есть вероятность перегрева оборудования и выхода из строя дата-центра.

Ситуация № 2

Смоделируем ситуацию с резервированием по схеме N+1. В этой конфигурации предусматривается установка одного резервного блока кондиционирования, который автоматически включается при отказе одного из рабочих блоков. Расчетная тепловая нагрузка на один кластер соответствует 3-м кондиционерам, соответственно устанавливаются 4 шт. На рисунке 3 показаны температурные поля на отметке +1.000 рабочей зоны (середина стойки) с резервированием, а также на рисунке 4 показано вертикальное сечение 2-2.

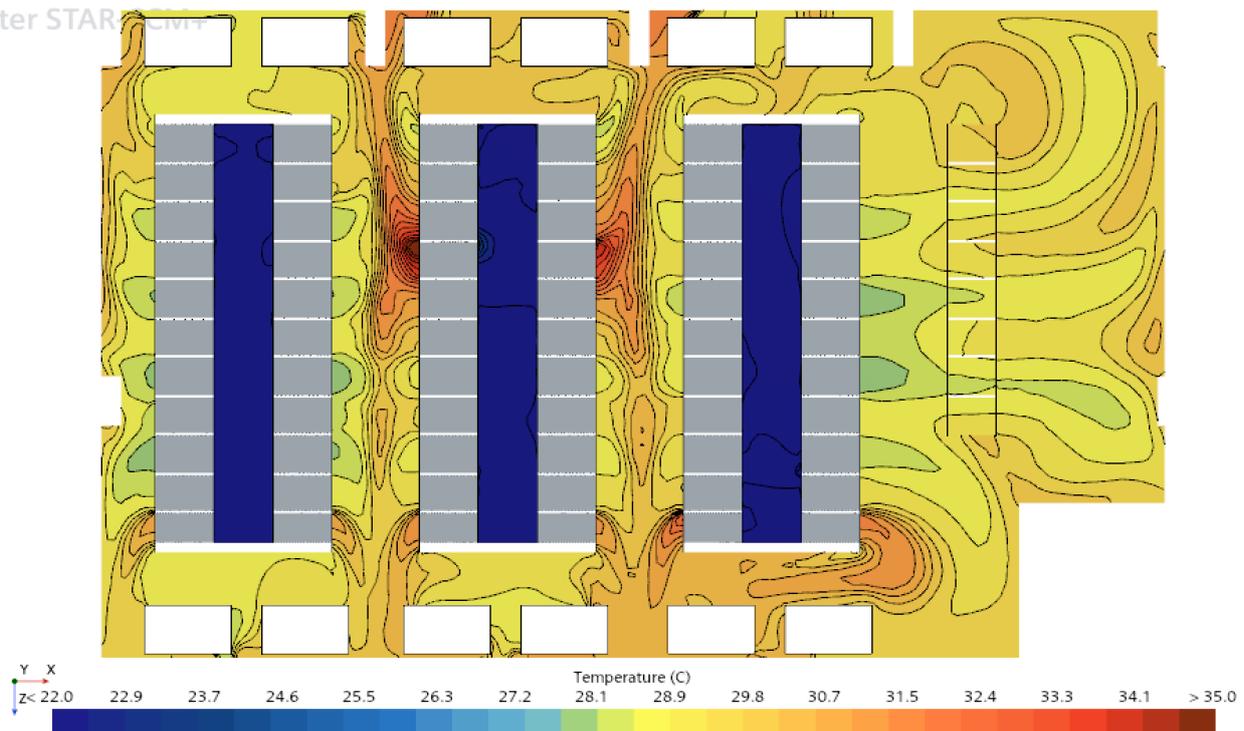


Рис. 3. Поле температур, горизонтальное сечение на отметке +1.000 рабочая зона по схеме резервирования (N+1)

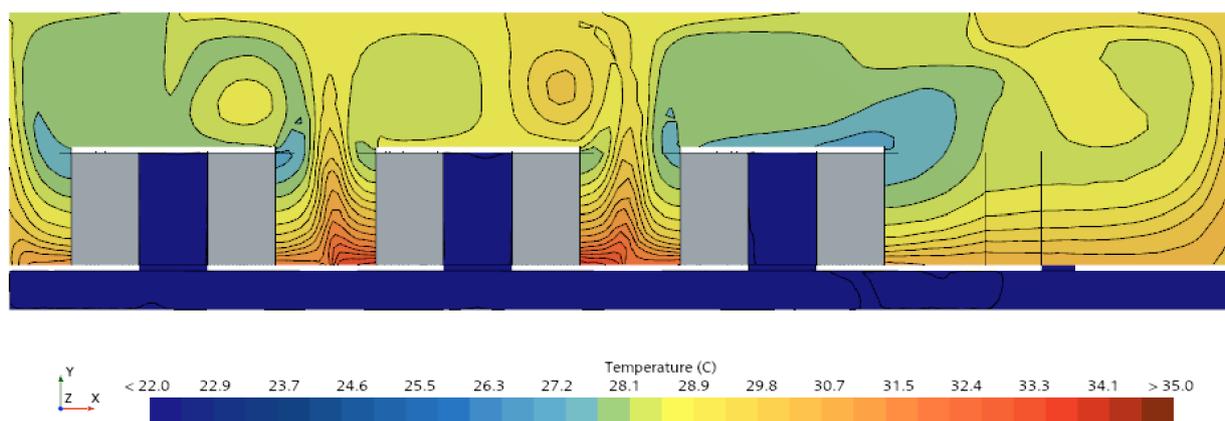


Рис. 4. Поле температур, вертикальное сечение 2-2

Таким образом на рисунке 3 видно, что распределение температур получилось менее равномерное, чем в первой ситуации, а также температура в некоторых точках выше (33–35°C), но незначительно и попадает в допустимый диапазон [3].

Выводом является, что при схеме резервирования N+1 все 66 стоек получают достаточное охлаждение – критического перегрева не наблюдается, резервные кондиционеры при этом не задействованы и экономят энергию.

Вывод

Итак, расчёты моделирования наглядно демонстрируют незначительные различия температурных полей при проектировании системы кондиционирования без резервирования и со схемой резервирования N+1. Однако положительной характеристикой резервирования системы охлаждения является соответствие требованиям уровню Tier II по бесперебойности охлаждения при отказе одной холодильной установки, соответственно не осуществляется перегрев оборудования.

Таким образом лучше использовать всегда схемы резервирования при проектировании

ЦОД, поскольку сохраняется допустимый диапазон температур в помещении, соответствие требованиям надежности ЦОД, снижает аварийные и эксплуатационные риски.

Литература

1. Uptime Institute. Tier Standard: Topology [Электронный ресурс]. – URL: <https://uptimeinstitute.com/standards/tier-standard-topology> (дата обращения: 08.01.2026).
2. Стандарт ТИА-942 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ups-info.ru/etc/tia_russkii.pdf (дата обращения 09.01.2026).
3. ASHRAE TC9.9 Data Center Networking Equipment – Issues and Best Practices Whitepaper prepared by ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9 Mission Critical Facilities, Data Centers, Technology Spaces, and Electronic Equipment [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Bookstore/ASHRAE_TC0909_Power_White_Paper_22_June_2016_REVISIED.pdf (дата обращения 09.01.2026).

PASCENKO Yulia Alekseevna

Student,

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, St. Petersburg

*Scientific Advisor – Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation of
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Candidate of Technical Sciences Anshukova Ekaterina Arkadyevna*

**ANALYSIS OF THE TEMPERATURE REGIME
IN DATA PROCESSING CENTERS
UNDER VARIOUS COOLING SUPPLY SCHEMES**

Abstract. *The article discusses redundancy schemes, standard requirements, and an analysis of the distribution of temperature fields in various operating modes when designing cold storage facilities for data centers.*

Keywords: *data center, server room, redundancy, temperature fields, IT equipment, air conditioning, modeling.*

СЕМЁНОВ Кирилл Сергеевич

студент,

Балтийский государственный технический университет Военмех имени Д. Ф. Устинова,
Россия, г. Санкт-Петербург

АРХИТЕКТУРЫ И МОДЕЛИ РАДИОКАНАЛА СИСТЕМ СВЯЗИ БАС: ОТ СХЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДО МЕТРИК ЭФФЕКТИВНОСТИ

Аннотация. Рассматриваются особенности построения и функционирования систем связи беспилотных авиационных систем (БАС), обеспечивающих управление, телеметрию и передачу полезной информации в реальном времени. Выполнена классификация схем взаимодействия: «спутник-БАС», «БАС-БАС», «БАС-наземная станция» и гибридная архитектура. Показано, что выбор модели канала является критическим для теоретического анализа: детерминированные модели обеспечивают высокую точность при наличии подробных данных о среде, тогда как стохастические описывают крупномасштабные потери и мелкомасштабные замирания. Приведены модели потерь (свободного пространства, с плавающим коэффициентом, усреднение по LOS/NLOS) и замирания (Рэля, Райса, Накагами, Лу), а также ключевые критерии эффективности – вероятность сбоя, пропускная способность и BER.

Ключевые слова: системы связи, каналы распространения, крупномасштабные потери, мелкомасштабное замирание, вероятность сбоя, пропускная способность.

Введение

БАС стремительно набирают популярность благодаря автономности и универсальности, позволяя выполнять задачи, которые опасны или технически сложны для пилотируемых полётов. Они применяются коммерческой фото- и видеосъёмке, мониторинге окружающей среды, доставке, сельском хозяйстве и поисково-спасательных операциях. Ключевым условием их эффективной работы является управление по каналу связи, обеспечивающее управление в реальном времени, передачу данных и ситуационную осведомлённость [1, с. 132]. Вместе с тем системы связи БАС ограничены полосой пропускания, могут быть нестабильными и уязвимы к помехам [2, с. 1]. Для преодоления этих проблем исследуются подходы когнитивного радио, кооперативной связи и систем MIMO, способные повысить надёжность и дальность связи БАС.

Разработка средств связи с БАС. Влияние БАС на сферу безопасности

Несмотря на то, что БАС существенно расширили возможности в гражданской и коммерческой сферах, их массовое внедрение обостряет вопросы безопасности, прежде всего связанные с беспроводной связью. Надёжность канала управления и передачи данных определяет устойчивость полёта и корректность выполнения миссии, поэтому любые воздействия

на радиоканал могут привести к потере контроля или снижению качества сервисов. Одной из наиболее распространённых угроз являются частотные помехи, возникающие из-за работы сторонних устройств в близких диапазонах, что ухудшает качество связи и может вызывать срывы управления; к этой же группе относятся риски подмены и глушения GPS-сигналов, влияющих на навигацию и функционирование БАС. Не менее критична потеря сигнала и сбой связи, возникающие из-за препятствий, особенностей распространения радиоволн и технических отказов: при разрыве канала БАС может перейти в нештатный режим, поэтому необходимы резервирование, устойчивые протоколы и отказоустойчивые процедуры возврата или перехода в безопасное состояние.

Отдельный блок составляют уязвимости кибербезопасности: злоумышленники могут пытаться перехватывать или изменять управляющие команды и телеметрию, провоцируя несанкционированное управление или нарушение работы системы. Для снижения рисков требуются криптографическая защита, аутентификация, средства обнаружения вторжений и применение стандартов безопасной связи. По мере роста числа эксплуатируемых БАС повышается вероятность перегрузки спектра, особенно в городах и при массовых мероприятиях, что приводит к задержкам, падению

надёжности и деградации качества связи; эффективное управление спектром и механизмы динамического распределения ресурсов рассматриваются как ключевые меры противодействия [3, с. 146-153]. Существенное влияние оказывает и человеческий фактор: недостаточная подготовка операторов, ошибки интерпретации данных или некорректные действия при ухудшении связи повышают вероятность инцидентов, поэтому важны обучение, сертификация и соблюдение стандартных процедур. Наконец, связь БАС зависит от условий окружающей среды – погоды, электромагнитных помех и географических препятствий, которые способны ухудшать качество сигнала или вызывать его отражения и прерывания [4, с. 1327-1338].

Таким образом, повышение безопасности связи БАС требует комплексного подхода, объединяющего технические решения, нормативно-правовые меры, подготовку операторов и отраслевое взаимодействие; устойчивое развитие направления невозможно без постоянных исследований, стандартизации протоколов и соблюдения требований безопасности при интеграции БАС в воздушное пространство [5, с.2-11].

Инновационные решения коммуникационных систем на основе БАС

БАС играют ключевую роль в сфере ретрансляционных сетей в качестве промежуточных узлов, облегчая передачу сигнала между исходным и конечным узлами. В контексте сбора данных БАС играют преобразующую роль. В системах сбора данных БАС используются для сбора определённых объёмов данных с наземных терминалов.

Концепция неортогонального множественного доступа (NOMA) занимает центральное место, представляющая собой новую структуру для сетей БАС с возможностью массового доступа. Применение методов NOMA в сетях БАС

производится с целью повышения спектральной эффективности и подключения большого количества устройств. Эти передовые системы связи на основе БАС демонстрируют постоянное стремление к расширению возможностей БАС, одновременно решая проблемы, связанные с безопасностью и производительностью.

Основная концепция и особенности связи с БАС. Состав средств связи с БАС

Связь с БАС можно условно разделить на несколько типов в зависимости от используемых каналов связи:

1. Связь между спутником и БАС (рис. 1). Спутники обеспечивают канал в зоне прямой видимости и позволяют работать на больших расстояниях и в удалённых районах, где наземная связь ограничена. По спутниковому каналу передаются данные, команды управления и телеметрия в реальном времени, обеспечивая глобальное покрытие.

2. Связь между различными БАС (рис. 2). Нужна для совместных миссий, роевых операций, координированного наблюдения и распределённого зондирования. Она обеспечивает обмен информацией и согласование действий между беспилотниками для достижения общей цели.

3. Связь БАС с наземной станцией (рис. 3). Основной канал для управления и мониторинга: передача команд, телеметрии и данных полезной нагрузки. Он позволяет операторам дистанционно контролировать БАС и поддерживать стабильную работу системы.

4. Гибридные коммуникации (рис. 4). Интеграция трёх предыдущих типов в единую сеть для непрерывного обмена данными между спутниками, БАС и наземными станциями. Такая архитектура повышает надёжность, расширяет дальность и улучшает взаимодействие различных платформ, увеличивая общие возможности систем связи БАС.

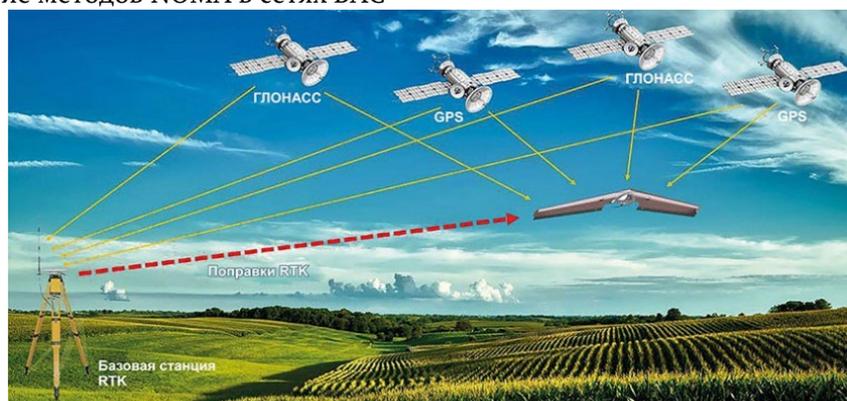


Рис. 1. Связь между спутником и беспилотным летательным аппаратом

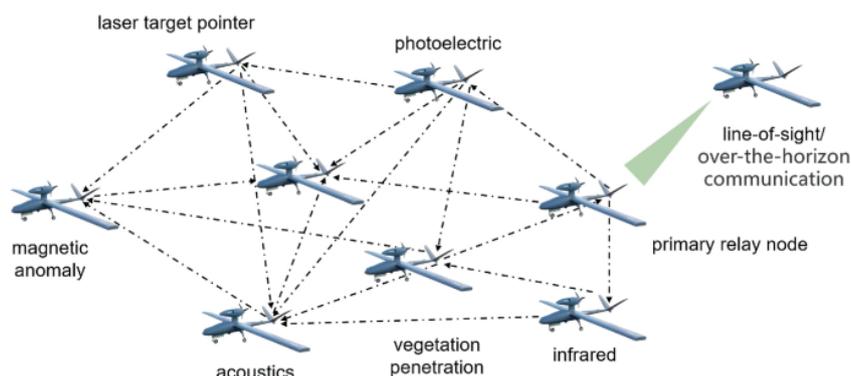


Рис. 2. Связь от БАС к БАС

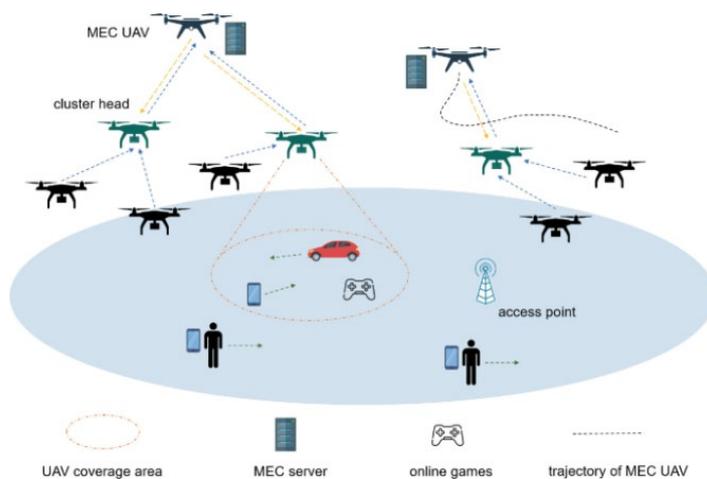


Рис. 3. Связь между БАС и наземными объектами

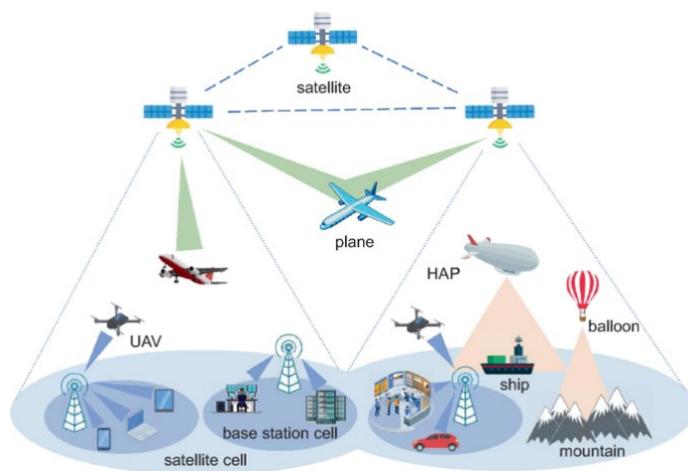


Рис. 4. Связь со спутником, БАС и землей

Особенности связи с БАС

Связь с БАС имеет ряд особенностей, отличающих её от традиционных систем, поскольку должна обеспечивать устойчивое управление, передачу телеметрии и полезных данных в динамичных условиях эксплуатации. Во-первых, связь является беспроводной и удалённой: для взаимодействия БАС с наземной станцией или другими узлами используются радиоканалы и, при необходимости, спутниковая связь. Выбор диапазона влияет на дальность, скорость

передачи и устойчивость к помехам, что особенно важно при работе в труднодоступных районах и сложной местности.

Во-вторых, выделяют два режима обмена: в зоне прямой видимости (ПВ) и вне зоны прямой видимости. При ПВ канал обычно используется для дистанционного пилотирования и передачи данных в реальном времени, однако его надёжность чувствительна к препятствиям и радиопомехам, а дальность ограничена условиями распространения радиосигнала. Для

расширения зоны действия применяются технологии связи за пределами прямой видимости, включая спутниковые решения и радиосвязь в дециметровом диапазоне [3, с. 146-153].

В-третьих, для БАС характерны ограничения пропускной способности из-за распределения спектра, возможностей оборудования и требований по энергопотреблению; поэтому протоколы и методы передачи данных ориентированы на эффективное использование канала с учётом задач миссии. Кроме того, критично важны надёжность и отказоустойчивость: система должна сохранять устойчивый обмен при ухудшении сигнала и помехах, а также обеспечивать защиту данных (в том числе за счёт шифрования). На практике это дополняется резервированием каналов, когда при отказе основного канала связь поддерживается переключением на резервный.

В совокупности перечисленные свойства показывают, что связь БАС требует специализированных решений, сочетающих эффективность использования спектра, устойчивость к внешним воздействиям и меры информационной безопасности.

Основные аспекты связи с БАС. Каналы связи БАС

В системах связи с БАС обмен данными между устройствами, как правило, осуществляется по беспроводным каналам, что обусловлено мобильностью терминалов. Поэтому изучение канала распространения радиосигнала является ключевым фактором, напрямую влияющим на качество связи и общую производительность системы; существующие работы подробно рассматривают характеристики, текущее состояние исследований и нерешённые проблемы моделирования каналов БАС. Однако создание единой универсальной модели, одинаково точной для всех условий, затруднено: на параметры канала влияют частотный

диапазон, свойства рассеивания среды, конфигурация антенн и доплеровские эффекты, вызванные движением БАС. На практике применяются два основных подхода к моделированию – детерминированный и стохастический (в том числе геометрически-стохастический).

Показатели эффективности систем связи

При оценке производительности систем связи БАС обычно используются несколько основных показателей:

- Вероятность сбоя – измеряет вероятность того, что система связи БАС не сможет обеспечить заданный уровень качества обслуживания, как показано на рисунке 5. Обычно она определяется как желаемая скорость передачи данных или уровень соотношения сигнал/шум. Чем ниже вероятность сбоя, тем выше производительность системы, а значит, выше вероятность достижения желаемого уровня качества обслуживания.
- Пропускная способность – представляет собой среднюю достижимую скорость передачи данных в системе связи БАС в долгосрочной перспективе с учетом условий затухания канала, как показано на рисунке 6. Она отражает статистическое поведение канала и оценивает пропускную способность системы для передачи данных. Чем выше пропускная способность, тем лучше общая производительность с точки зрения достижимых скоростей передачи данных.
- Частота ошибок передачи (BER – bit error rate) – измеряет отношение количества ошибочных битов к общему количеству переданных битов соответственно, как показано на рисунке 7. Этот показатель количественно определяет качество полученных данных и оценивают влияние ошибок на систему связи. Более низкие значения BER указывают на более высокую производительность системы и надёжность передачи данных.

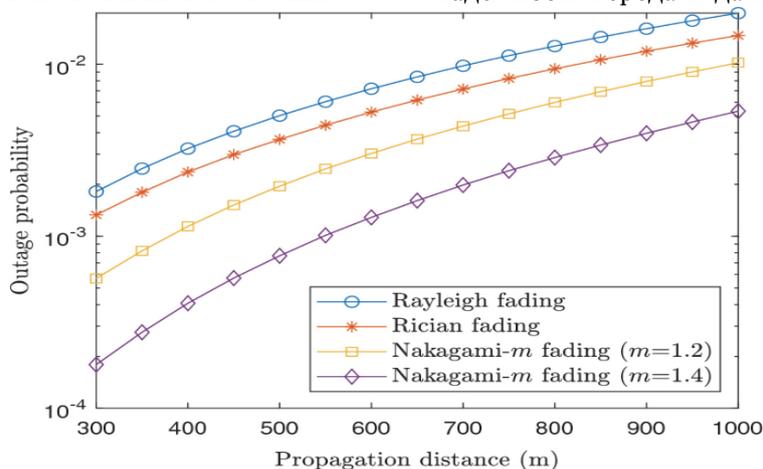


Рис. 5. Вероятность сбоя для различных каналов с замиранием

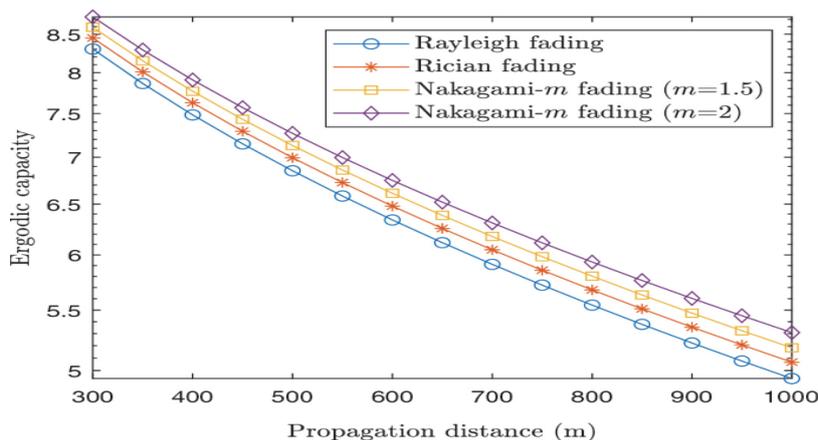


Рис. 6. Пропускная способность для различных каналов замирания

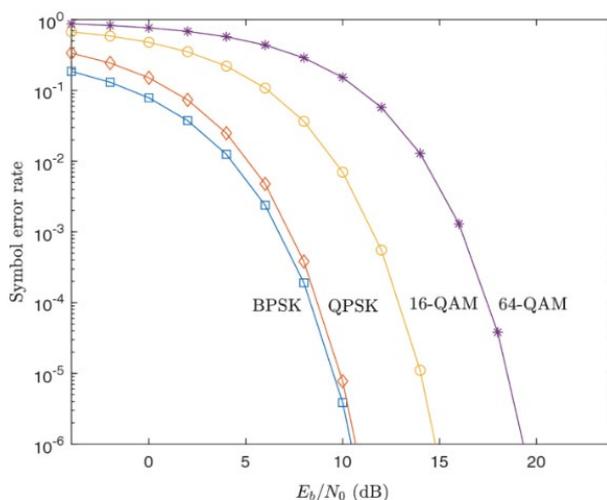


Рис. 7. Частота ошибок символов для различных каналов с замиранием

Эти показатели производительности обычно используются для оценки и оптимизации производительности систем связи БАС. Анализируя их, разработчики систем могут принимать обоснованные решения о протоколах связи, схемах модуляции, методах кодирования, управлении мощностью передачи и других параметрах системы, чтобы обеспечить надёжную и эффективную связь между БАС и наземной станцией или другими устройствами связи.

Выводы

Систематизированы архитектуры связи «спутник-БАС», «БАС-БАС», «БАС-наземная станция» и гибридные решения, а также представлены подходы к повышению эффективности, включая ретрансляционные сети, сбор данных и применение NOMA.

При теоретическом анализе критически важен выбор модели канала: для крупномасштабных потерь используются модели свободного пространства, модели с плавающим коэффициентом и усреднение по LOS/NLOS, а для

мелкомасштабных замираний применяются модели Рэля, Райса, Накагами и Лу.

В качестве основных метрик производительности выделены вероятность сбоя, пропускная способность и BER, позволяющие комплексно оценивать устойчивость и качество связи БАС. Дальнейшее развитие средств связи БАС связано с интеграцией современных сетевых технологий и расширением возможностей дальнедействующих каналов, включая спутниковые решения.

Литература

1. Иванов И.И., Петров П.П. «Беспроводные технологии связи в системах управления беспилотными летательными аппаратами». Москва: Наука, 2023. – 256 с.
2. Способы повышения дальности действия систем связи беспилотных летательных аппаратов. [Электронный ресурс]. URL: <https://na-journal.ru/4-2024-informacionnye-tehnologii/11061-cposoby-povysheniya-dalnosti-deistviya-sistem-svyazi-besplotnyh>

letatelnyh-apparatov (дата обращения 13.11.2025).

3. Feng Z., Ji L., Zhang Q., Li W. Spectrum management for MmWave enabled UAV swarm networks: challenges and opportunities. IEEE Commun. Mag. No. 57(1), P. 146-153, 2019.

4. Zhang S., Zhang H., Di B., Song L. Cellular UAV-to-X communications: design and

optimization for multi-UAV networks. IEEE Trans. Wireless Commun. No. 18(2), P. 1346-1359, 2018.

5. Du Y., Yang K., Wang K., Zhang G., Zhao Y., Chen D. Joint resources and workflow scheduling in UAV-enabled wirelessly-powered MEC for IoT systems. IEEE Trans. Veh. Technol. No. 68(10), P. 10187-10200, 2019.

SEMYONOV Kirill Sergeevich

Student,

D. F. Ustinov Baltic State Technical University of Military Mechanics,
Russia, Saint Petersburg

ARCHITECTURES AND RADIO-CHANNEL MODELS OF UAS COMMUNICATION SYSTEMS: FROM INTERACTION SCHEMES TO PERFORMANCE METRICS

Abstract. *The paper examines the design and operational features of communication systems for unmanned aircraft systems (UAS) that provide command and control, telemetry, and real-time payload data transmission. A classification of interaction schemes is presented: “satellite-UAS,” “UAS-UAS,” “UAS-ground station,” and a hybrid architecture. It is shown that the choice of channel model is critical for theoretical analysis: deterministic models offer high accuracy when detailed information about the environment is available, whereas stochastic models describe large-scale path loss and small-scale fading. Path-loss models (free-space, floating-intercept, and LOS/NLOS-averaged) and fading models (Rayleigh, Rician, Nakagami, and Loo) are discussed, along with key performance metrics—outage probability, throughput, and BER.*

Keywords: *communication systems, propagation channels, large-scale path loss, small-scale fading, outage probability, throughput.*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЕЛЕХИН Александр Сергеевич

студент,

Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова,

Россия, г. Чебоксары

Научный руководитель – доцент кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем Чувашского государственного университета им. И. Н. Ульянова, кандидат физико-математических наук Копышева Татьяна Николаевна

СПЕЦИФИКА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ АСУ ТП

Аннотация. В статье рассматривается специфика защиты информации в АСУ ТП, обусловленная приоритетом непрерывности и предсказуемости работы над конфиденциальностью и целостностью. Применение стандартных ИБ-механизмов в АСУ ТП требует существенной адаптации из-за особенностей их архитектуры, используемых протоколов и условий эксплуатации.

Ключевые слова: АСУ ТП, промышленная кибербезопасность, ОТ-безопасность, защита информации, функциональная безопасность.

Развитие цифровых технологий привело к глубокой интеграции информационных и операционных технологий. Однако эта интеграция создала новую угрозу: кибератаки, ранее ограниченные виртуальной средой, получили возможность воздействовать на физические процессы. АСУ ТП, управляющие энергетикой, водоснабжением, производством и транспортом, стали мишенью. При этом оказалось, что модель информационной безопасности, сложившаяся в корпоративном секторе, не переносится напрямую на промышленные системы [4]. Проблема заключается не в отсутствии угроз, а в несовместимости требований. Если для ИТ-систем допустим кратковременный простой ради установки обновления, то для АСУ ТП даже миллисекундная задержка в передаче команды может вызвать аварию. Эта разница между логикой ИБ и логикой технологического процесса и составляет суть специфики защиты информации в АСУ ТП.

В классической модели CIA (конфиденциальность, целостность, доступность) все три компонента считаются равнозначными. В контексте АСУ ТП эта модель деформируется: доступность становится абсолютным

приоритетом, тогда как конфиденциальность часто понижается до минимума, а целостность интерпретируется иначе [3, п. 8]. Например, утечка данных о текущем давлении в трубопроводе – не катастрофа. Но если система из-за проверки цифровой подписи команды задержит её выполнение на 500 мс, это может привести к гидроудару. Поэтому многие промышленные протоколы изначально проектировались без механизмов шифрования и аутентификации. Эта особенность делает бессмысленным прямое применение таких ИБ-практик, как обязательное TLS-шифрование трафика или двухфакторная аутентификация для каждого входа в HMI. Защита должна быть прозрачной для технологического процесса. Важнейший аспект специфики АСУ ТП – неразрывная связь информационной и функциональной безопасности. В отличие от ИТ-систем, где сбой в работе ПО редко приводит к физическому ущербу, в АСУ ТП нарушение информационной безопасности напрямую разрушает функциональную безопасность: подмена значения температуры в системе управления печью может привести не просто к искажению данных, а к превышению предельно допустимой температуры,

разрушению оборудования и возгоранию. Исходя из этого, угроза информационной безопасности становится угрозой промышленной безопасности [3].

АСУ ТП характеризуются рядом свойств, которые радикально ограничивают выбор средств защиты. Во-первых, оборудование в таких системах имеет чрезвычайно долгий жизненный цикл: программируемые логические контроллеры (ПЛК) и промышленные контроллеры нередко эксплуатируются 15–20 лет, а их операционные системы и программное обеспечение зачастую не поддерживают современные криптографические алгоритмы или даже базовые компоненты сетевого стека. Во-вторых, АСУ ТП функционируют в условиях жёстких временных ограничений – любая дополнительная обработка сетевого трафика (например, глубокая инспекция пакетов) вносит задержку, способную нарушить синхронизацию технологического процесса. В-третьих, в одной и той же сети часто сосуществуют гетерогенные устройства разных поколений и производителей, использующие проприетарные или закрытые протоколы, что затрудняет реализацию унифицированного мониторинга и анализа трафика. Наконец, в-четвёртых, АСУ ТП обладают прямой физической зависимостью: компрометация управляющей логики может привести не просто к утечке данных, а к реальным физическим последствиям – выходу из строя насоса, перегреву реактора, остановке конвейера, – то есть угроза выходит далеко за пределы информационной сферы. Защита не может быть «встроена» в конечные устройства. Вместо этого она реализуется на границах зон и на уровне сети. В ИТ-среде широко применяются активные защитные меры: антивирусы, EDR, автоматическая блокировка трафика. В АСУ ТП такие механизмы часто недопустимы из-за непредсказуемости поведения, риска ложных срабатываний, а также частичного отсутствия возможности восстановления.

В ИТ-среде доминирует модель «предотвратить проникновение». В АСУ ТП такая модель нереалистична: изоляция давно нарушена, а уязвимости в legacy-оборудовании неустраняемы. Поэтому основной акцент смещается на непрерывный мониторинг, контроль целостности и быстрое реагирование. Ключевой инструмент – промышленные системы обнаружения вторжений (СОВ), способные анализировать

смысл промышленных протоколов [4]. Такие системы не просто фиксируют подозрительный IP-адрес, а понимают, что команда «открыть клапан на 100%» в 3 ночи при нормальном режиме «закрыт» – это аномалия. Другой важный элемент – базовая линия поведения. Поскольку конфигурация АСУ ТП меняется редко, любое отклонение от штатного трафика, например, новое устройство, неожиданная команда, становится сигналом к расследованию. Хотя технические ограничения важны, значительная часть инцидентов в АСУ ТП связана с человеческим фактором, который проявляется специфически: инженеры-технологи часто обходят защитные меры ради оперативного устранения неполадок, удалённое обслуживание сторонними подрядчиками создаёт временные, плохо контролируемые точки доступа, отсутствие ИБ-культуры у персонала, чья подготовка ориентирована исключительно на технологический процесс. Это требует не только технических, но и организационных решений, таких, как например, внедрение защищённых платформ удалённого доступа, регулярные тренинги, адаптированные под язык и логику персонала, разделение ролей между ИТ- и ОТ-командами при сохранении совместной ответственности за безопасность. Безопасность не должна нарушать функциональную безопасность, защита рассматривается не как надстройка, а как неотъемлемая часть инженерного проектирования технологического процесса.

Литература

1. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: федеральный закон от 26 июля 2017 г. № 187-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации pravo.gov.ru. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201707260040>.
2. Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: приказ ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. № 239. – URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/prikazy/prikaz-fstek-rossii-ot-25-dekabrya-2017-g-n-239>.
3. Об утверждении Требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления

производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды: приказ ФСТЭК России от 14 марта 2014 г. № 31. – URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/prikazy/prikaz-fstek-rossii-ot-14-marta-2014-g-n-31>.

4. Таблица стандартов кибербезопасности АСУ ТП [Электронный ресурс] // INNER. – 2025. – URL: <https://inner.su/articles/tablitza-standartov-kiberbezopasnosti-asu-tp/>.

5. Требования ГОСТ на автоматизированные системы в ИБ-проектах. Что изменилось и как это применять? [Электронный ресурс] // Хабр. – 2022. – URL: <https://habr.com/ru/companies/angarasecurity/articles/671882/>.

ELEKHIN Alexander Sergeevich

Student, I. N. Ulyanov Chuvash State University, Russia, Cheboksary

Scientific Advisor – Associate Professor of the Department of Mathematical and Hardware Support of Information Systems of the I. N. Ulyanov Chuvash State University, Candidate of Physico-Mathematical Sciences Kopysheva Tatiana Nikolaevna

THE SPECIFICS OF AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM INFORMATION PROTECTION

Abstract. *The article examines the specifics of information security in automated process control systems, due to the priority of continuity and predictability of work on confidentiality and integrity. The use of standard information security mechanisms in automated process control systems requires significant adaptation due to the peculiarities of their architecture, protocols used and operating conditions.*

Keywords: *automated process control system, industrial cybersecurity, OT-security, information protection, functional security.*

ИСКАНДАРОВА Софья Альбертовна

директор по разработке продуктов искусственного интеллекта,
ООО «РТК ИТ», Россия, г. Москва

ОТ ТЕКСТОВОГО ПОСРЕДНИЧЕСТВА К ЛАТЕНТНОЙ КОЛЛАБОРАЦИИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ АГЕНТОВ В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Аннотация. Мультиагентные системы на основе больших языковых моделей ограничены текстовым взаимодействием, создающим семантические и вычислительные потери. Целью работы является выявление ключевых преимуществ латентной коллаборации в непрерывном скрытом пространстве по сравнению с традиционным текстовым взаимодействием. Проведен сравнительный анализ текстовых подходов (AutoGen, CAMEL, ReAct) и латентных методов (Cocoonut, Cache-to-Cache). Раскрыта архитектура LatentMAS, объединяющая генерацию скрытых мыслей и передачу рабочей памяти через кэш ключей и значений. Результаты показывают ускорение вывода в 4–4,3 раза, сокращение объема данных на 70,8–83,7% и прирост точности до 14,6%. Теоретическая значимость состоит в обосновании превосходства непрерывных представлений. Практическая ценность определяется возможностью масштабирования систем искусственного интеллекта при минимальных затратах.

Ключевые слова: мультиагентные системы, большие языковые модели, скрытое пространство представлений, латентная коллаборация, вычислительная эффективность, авторегрессионная генерация, передача рабочей памяти, непрерывные представления.

Введение

Современное развитие технологий искусственного интеллекта характеризуется переходом от использования изолированных больших языковых моделей (LLM) к созданию мультиагентных систем (MAS), обеспечивающих достижение системного интеллекта через координацию действий множества агентов [6]. Традиционно взаимодействие в таких системах строится на основе обмена текстовыми сообщениями на естественном языке, который выступает универсальным посредником между участниками процесса [4, с. 51991-52008]. Однако использование текста накладывает существенные ограничения на эффективность функционирования системы. Естественный язык является средой с низкой пропускной способностью обмена данными, создающей семантическое «узкое горлышко» [1, 2]. Высоко-размерные внутренние представления моделей при текстовой коммуникации принудительно сжимаются в линейные последовательности дискретных символов, что неизбежно ведет к потере значимой семантической информации. Кроме того, процесс посимвольной генерации текста и его последующее повторное кодирование приемником вносят значительные задержки в работу системы, снижая её

общую вычислительную производительность [3, 11].

Существующие подходы к реализации мультиагентных систем, такие как AutoGen, CAMEL или ReAct, ориентированы на явную вербализацию промежуточных шагов (цепочек рассуждений), что, несмотря на повышение интерпретируемости, способствует накоплению ошибок и увеличивает операционные затраты [7, 10]. В качестве альтернативы были предложены методы латентных рассуждений, например, Cocoonut, демонстрирующие преимущества внутреннего поиска в непрерывном скрытом пространстве, однако они ограничиваются рамками одной модели [3]. Стратегии прямой передачи семантики, такие как Cache-to-Cache, позволяют обмениваться данными через кэш ключей и значений (KV-кэш), но они преимущественно ориентированы на наследование контекста и не обеспечивают полноценной совместной работы агентов в скрытом пространстве [2]. Таким образом, в современной науке существует потребность в разработке единой архитектуры, объединяющей внутреннее латентное мышление агентов с механизмами бесшовной передачи знаний между ними.

Целью настоящего исследования является выявление ключевых преимуществ и ограничений метода латентной коллаборации по сравнению с традиционными текстовыми подходами.

Для достижения поставленной цели в статье решаются следующие задачи:

Проведение сравнительного анализа текстовых и латентных подходов к организации взаимодействия в мультиагентных системах.

Систематизация механизмов архитектуры LatentMAS, включая процессы авторегрессионной генерации скрытых мыслей и передачи латентной рабочей памяти.

Оценка выигрыша в вычислительной сложности и точности при использовании латентной коллаборации на основе анализа экспериментальных данных.

Научная новизна работы состоит в систематизации и проведении сравнительного анализа эффективности текстовых и латентных подходов к взаимодействию агентов. На основе сопоставления архитектур (AutoGen, CAMEL, ReAct, Coconut, Cache-to-Cache и LatentMAS) обосновано теоретическое и практическое превосходство передачи непрерывных представлений (KV-кэша) над дискретным текстовым обменом, что позволяет рассматривать латентную коллаборацию как наиболее перспективный вектор развития мультиагентных систем.

Обзор литературы

Развитие мультиагентных систем (MAS) на базе больших языковых моделей (LLM) обусловлено необходимостью перехода от изолированного решения задач к коллективному интеллекту, где взаимодействие агентов позволяет декомпозировать сложные проблемы на подзадачи [5, 7]. В рамках данного обзора существующие подходы классифицированы по среде взаимодействия: текстовые системы, основанные на естественном языке, и латентные методы, использующие непрерывные внутренние представления моделей.

Классические текстовые мультиагентные системы

Традиционные подходы опираются на текстовое взаимодействие как универсальную среду обмена информацией. Одной из ключевых работ в этом направлении является программная среда AutoGen, которая предоставляет гибкую инфраструктуру для создания MAS. Агенты в AutoGen характеризуются способностью к ведению диалога, настраиваемостью и возможностью интеграции инструментов или человеческого участия. Основным отличием данной системы является поддержка различных паттернов взаимодействия,

включая динамические групповые чаты и иерархические структуры [7].

Параллельно развивалась концепция ролевых игр, реализованная в проекте CAMEL. В основе данного фреймворка лежит метод «inception prompting» (инцептивное инструктирование), который направляет агентов к выполнению задачи, сохраняя соответствие намерениям пользователя. Автономная кооперация между агентом-пользователем и агентом-помощником осуществляется через последовательный обмен инструкциями и решениями, что позволяет минимизировать вмешательство человека в процесс планирования [4, с. 51991-52008].

Важным этапом в эволюции текстовых MAS стало внедрение парадигмы ReAct, которая обеспечивает синергию рассуждения и действия. Метод предполагает чередование генерации цепочек рассуждений (thoughts) и специфических для задачи действий (actions). Рассуждения помогают модели обновлять планы и обрабатывать исключения, в то время как действия позволяют взаимодействовать с внешними источниками, такими как базы знаний или программные интерфейсы [10].

Несмотря на эффективность, текстовые MAS сталкиваются с рядом фундаментальных ограничений. Естественный язык в качестве канала связи создает семантическое «узкое горлышко»: высокоразмерные внутренние представления сжимаются в дискретные токены, что ведет к потере информации [11]. Кроме того, посимвольная генерация вносит вычислительную избыточность и увеличивает задержку вывода [1, 2].

Латентные методы и оптимизация взаимодействия

В ответ на ограничения текстовых систем были предложены методы, использующие скрытое пространство (latent space) LLM для процессов мышления и коммуникации. Подход Coconut (Chain of Continuous Thought) предлагает перенести процесс рассуждения из лингвистической области в непрерывную среду. Вместо декодирования скрытых состояний в токены, Coconut напрямую подает последнее скрытое состояние последнего слоя трансформера на вход для следующего итерационного шага. Теоретический анализ и эксперименты показывают, что такие «непрерывные мысли» обладают более высокой выразительностью и позволяют реализовывать стратегии поиска, аналогичные поиску в ширину (BFS), что повышает точность решения логических задач [3].

Проблема эффективной передачи данных между различными моделями рассматривается

в исследовании Cache-to-Cache (C2C). Авторы предлагают парадигму прямой семантической коммуникации через кэш ключей и значений (KV-кэш). C2C использует нейронную сеть для проекции и слияния KV-кэша модели-источника с кэшем модели-приемника, что обеспечивает бесшовную передачу знаний без промежуточной генерации текста. Экспериментально подтверждено, что данный подход превосходит текстовый обмен данными по точности на 3,0–5,0% при двукратном ускорении вывода [2].

Дополнительные исследования в области совместного использования слоев KV-кэша (Cross-Layer KV Sharing) демонстрируют возможности значительного сокращения потребления памяти (до 2 раз) при сохранении конкурентоспособности моделей. Методы, подобные LCKV и YOCO, оптимизируют внутреннюю работу трансформера, вычисляя ключи и значения только для подмножества слоев, что закладывает основу для более эффективной латентной обработки данных [8, с. 396-403; 9].

Анализ литературы показывает, что до появления LatentMAS исследования развивались фрагментарно: либо в сторону латентных рассуждений внутри одной модели (Cocoput), либо в сторону передачи контекста между двумя моделями (C2C). Не существовало единой методологии, которая объединяла бы генерацию латентных мыслей и системную межагентную коллаборацию в скрытом пространстве без необходимости повторного обучения весов. LatentMAS закрывает этот пробел, предлагая

универсальный фреймворк для полной латентной коллаборации, обеспечивающей lossless (без потерь) передачу информации и существенное снижение вычислительной сложности по сравнению с традиционными текстовыми MAS [11].

Основная часть

Архитектура и функциональные механизмы LatentMAS

Методологический базис фреймворка LatentMAS опирается на концепцию сквозной латентной коллаборации, при которой интеллектуальные агенты на базе больших языковых моделей (LLM) взаимодействуют исключительно в непрерывном скрытом пространстве, минуя этап декодирования промежуточных рассуждений в текстовые токены. Архитектура системы объединяет два ключевых функциональных механизма: внутреннюю генерацию латентных мыслей и межагентную передачу латентной рабочей памяти. В отличие от традиционных текстовых мультиагентных систем (TextMAS), где «универсальной средой» обмена данными служит естественный язык, LatentMAS реализует прямое сопряжение внутренних представлений моделей, что обеспечивает сохранение семантической полноты при существенном снижении вычислительных затрат [11].

Визуально процесс трансформации скрытых состояний и их передачи между агентами через механизм KV-кэша, объединяющий этапы генерации мыслей и коммуникации, представлен на схеме (рис. 1).

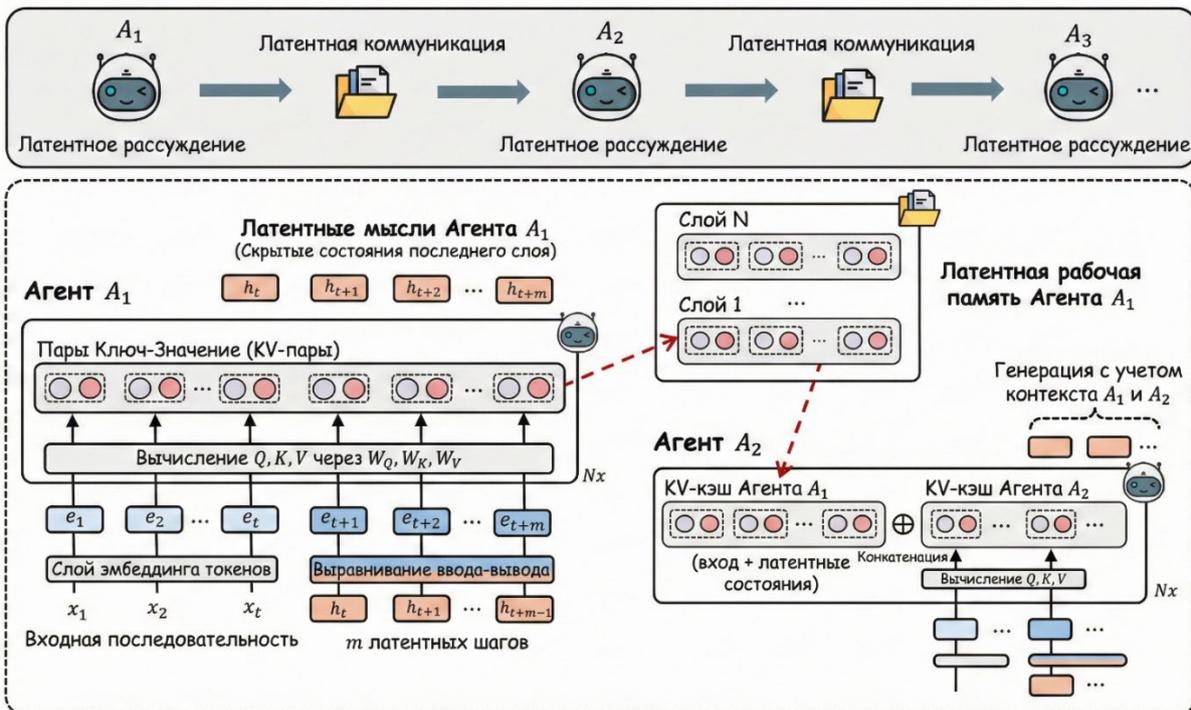


Рис. 1. Общая схема LatentMAS. Показано, как Агент 1 генерирует латентные мысли, а затем передает их через послыный KV-кэш Агенту 2

Процесс авторегрессионной генерации латентных мыслей

Внутренняя логика работы каждого агента A_i в системе строится на модифицированном процессе авторегрессионного вывода. В стандартном режиме (TextMAS) трансформерная модель преобразует входную последовательность в скрытые представления, которые на последнем слое проецируются на пространство словаря для выбора следующего токена. В LatentMAS вместо явной генерации текста агент оперирует скрытыми векторами последнего слоя (hidden states). Полученное на текущем шаге t скрытое представление h_t напрямую подается на вход модели для шага $t + 1$, заменяя собой стандартный процесс эмбединга токена [11].

Данный итерационный цикл повторяется в течение m латентных шагов, в результате чего формируется последовательность $H = [h_{t+1}, h_{t+2}, \dots, h_{t+m}]$, определяемая как «латентные мысли» агента. Теоретическое обоснование данного подхода, сформулированное в рамках гипотезы линейного представления, указывает на то, что такие непрерывные мысли обладают значительно более высокой экспрессивной способностью по сравнению с

дискретными символами. Согласно теореме об экспрессивности, один латентный шаг способен передать объем информации, эквивалентный длинной последовательности текстовых токенов, что делает процесс мышления в скрытом пространстве на порядки эффективнее вербализованных цепочек рассуждений (CoT) [11].

Механизм выравнивания входных и выходных распределений

Критическим аспектом архитектуры является проблема несовпадения статистических распределений: векторы скрытых состояний последнего слоя h_t по своей структуре отличаются от обученных векторов входных вложений (embeddings). Прямая подача выходных векторов на вход без корректировки может привести к активациям, выходящим за пределы нормы (out-of-distribution), что дестабилизирует работу модели [11].

Эффективность применения оператора линейного выравнивания для корректировки дрейфа скрытых векторов и их возвращения в область допустимых значений входных эмбедингов продемонстрирована на графиках плотности распределения (рис. 2).

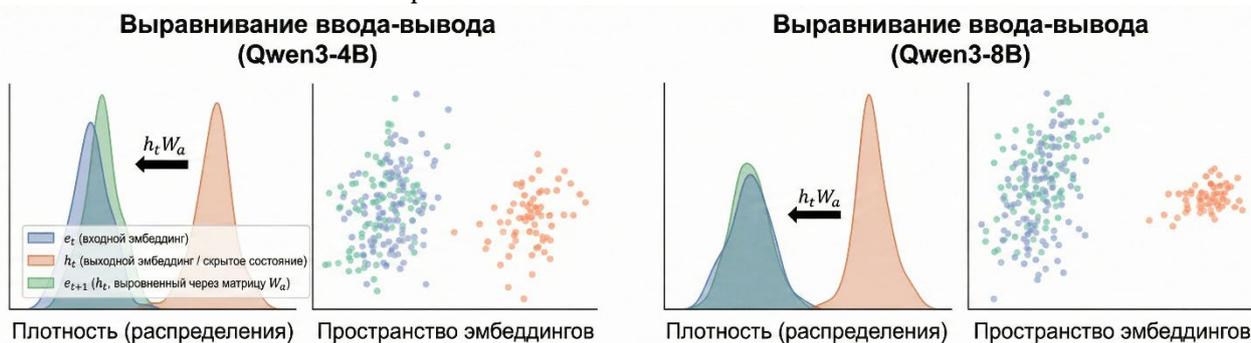


Рис. 2. Демонстрация эффективности выравнивания ввода-вывода. Показывает, как выравнивание возвращает смещенные векторы обратно в исходное пространство эмбедингов

Для решения этой задачи во фреймворке реализован оператор линейного выравнивания. На основе матриц входных (W_{in}) и выходных (W_{out}) вложений агента вычисляется проекционная матрица $W_a \in R^{d_h \times d_h}$, которая отображает вектор h в пространство, соответствующее входным параметрам модели: $e = hW_a$. Для обеспечения численной стабильности и предотвращения дрейфа представлений матрица W_a рассчитывается методом гребневой регрессии (ridge regression), что минимизирует расстояние Вассерштейна между распределениями токенов и выровненных латентных векторов. Данный механизм является полностью

автономным и не требует дополнительного обучения или настройки весов основной модели, что сохраняет универсальность подхода [11].

Передача латентной рабочей памяти и межагентная коллаборация

Коллаборация между агентами в LatentMAS реализуется через механизм передачи латентной рабочей памяти (latent working memory). В текстовых системах после завершения работы одного агента его результат в виде строки символов добавляется в контекст следующего участника, что неизбежно ведет к потере семантических нюансов при сжатии

многомерных данных в токены. В LatentMAS информация передается без потерь (lossless) путем экспорта кэша ключей и значений (KV-cache) всех слоев трансформера [11].

Латентная рабочая память агента A_i определяется как совокупность накопленных матриц ключей и значений для всех слоев модели, инкапсулирующая как исходный вопрос, так и сгенерированные латентные мысли. При переходе к следующему агенту A_{i+1} этот объем данных интегрируется в его собственную структуру через послонную конкатенацию KV-кэшей. Таким образом, последующий агент приступает к генерации собственных мыслей, уже находясь в контексте полных, неискаженных внутренних представлений предшественника [11].

Теоретический анализ подтверждает, что такая форма обмена эквивалентна прямой передаче всех вычислений, но исключает избыточные повторные расчеты, которые потребовались бы при обработке текста. С точки зрения

вычислительной сложности, LatentMAS демонстрирует значительное преимущество: в то время как временные затраты TextMAS растут пропорционально количеству генерируемых токенов и размеру словаря, сложность LatentMAS зависит главным образом от размерности скрытого пространства и количества латентных шагов. Это позволяет достигать высокой точности прикратно меньшем количестве итераций вывода [11].

Представленная архитектура является инвариантной относительно конкретных стратегий взаимодействия и может быть успешно внедрена как в последовательные конвейерные системы (planner-critic-refiner), так и в иерархические структуры с разделением по дисциплинарным областям (code-math-science) [11].

Гибкость архитектуры позволяет реализовывать различные топологии взаимодействия агентов, включая последовательные и иерархические схемы, структура которых проиллюстрирована ниже (рис. 3).

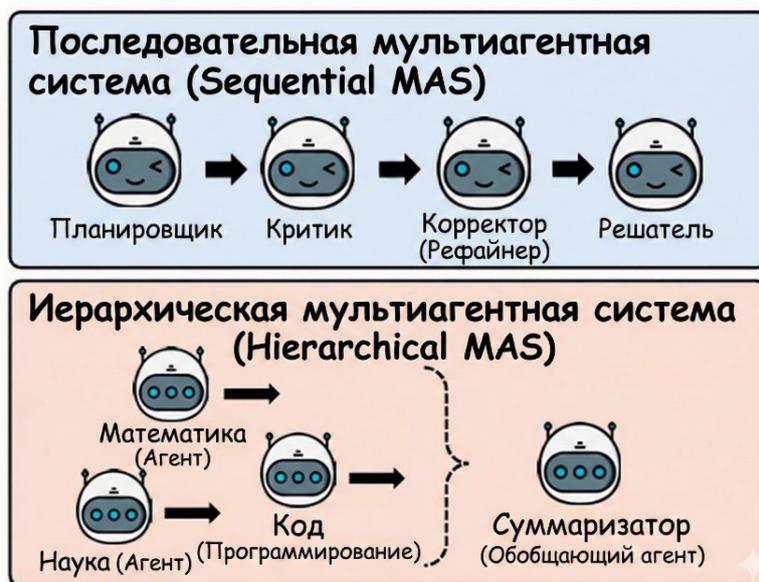


Рис. 3. Иллюстрация последовательной (Sequential) и иерархической (Hierarchical) схем работы мультиагентной системы

Сравнительная оценка эффективности и точности коллаборации

В данном подразделе проводится сопоставительный анализ фреймворка LatentMAS с традиционными мультиагентными системами, основанными на текстовом взаимодействии (TextMAS), и одиночными моделями (Single Model). Оценка осуществляется по трем ключевым критериям: вычислительная сложность, эффективность использования ресурсов (объем токенов и скорость вывода) и точность решения задач в различных предметных областях.

Вычислительная эффективность и ресурсы

Теоретический анализ вычислительной сложности подтверждает значительное превосходство латентной коллаборации над текстовой. Согласно данным базового исследования, временная сложность работы каждого агента в системе LatentMAS определяется как $O((d_h^2 m + d_h m^2 + d_h t m)L)$, где d_h – размерность скрытого пространства, m – количество латентных шагов, t – длина входной последовательности, а L – число слоев трансформера. В

отличие от этого, текстовое взаимодействие (TextMAS) требует существенно больших затрат для достижения эквивалентной выразительной способности, поскольку сложность генерации и последующего кодирования дискретных токенов растет пропорционально размеру словаря $|V|$ и количеству итераций вывода. Латентный подход позволяет передавать информацию в $O(d_h/\log|V|)$ раз эффективнее,

что для моделей масштаба 14B означает преимущество в экспрессивности более чем в 470 раз по сравнению с текстом [11].

Экспериментальные данные, подтверждающие кратное ускорение вывода и значительное сокращение объема используемых токенов по сравнению с текстовыми системами и одиночными моделями, приведены на диаграммах (рис. 4).

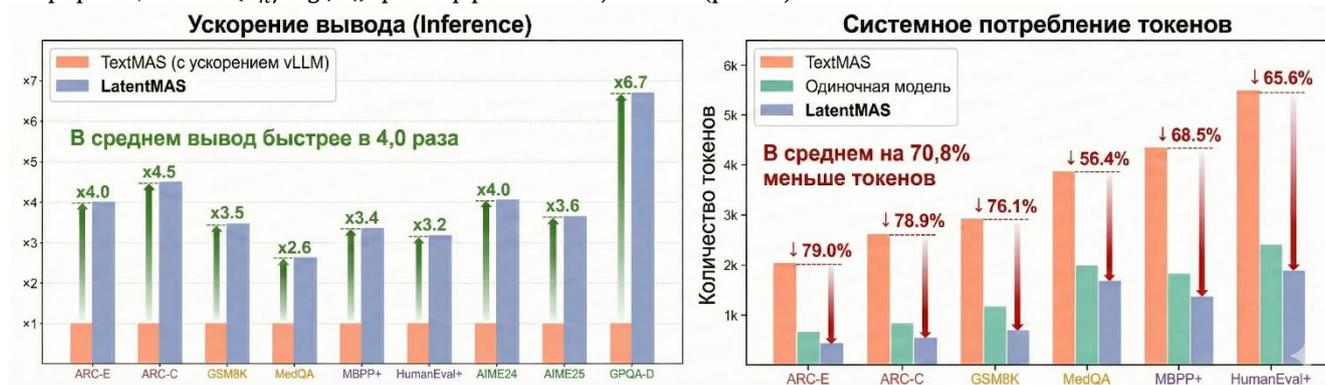


Рис. 4. Графики ускорения и сокращения использования токенов. Показывают преимущество LatentMAS над TextMAS

Эмпирические результаты подтверждают теоретические выводы: LatentMAS демонстрирует кратное ускорение работы системы. Средний показатель ускорения сквозного вывода (end-to-end inference speed) составляет от 4,0x до 4,5x по сравнению с TextMAS. Примечательно, что данный выигрыш сохраняется даже при использовании оптимизированных бэкендов, таких как vLLM, обеспечивающих ускорение базовых текстовых систем. Столь высокая производительность обусловлена отказом от трудоемких процессов посимвольного декодирования промежуточных рассуждений. Вместо генерации десятков тысяч токенов для построения цепочек рассуждений (CoT), агентам LatentMAS требуется менее 50 латентных шагов для достижения сопоставимых или более высоких результатов в математических и логических задачах [11].

Параллельно с ростом скорости наблюдается радикальное снижение потребления токенов. В последовательных конфигурациях MAS объем генерируемых данных сокращается на 70,8%, а в иерархических структурах – на 83,7%. В задачах повышенной сложности, таких как MedQA или HumanEval+, сокращение объема токенов достигает 87,9%. Это объясняется тем, что взаимодействие происходит через прямую передачу латентной рабочей памяти (KV-эша), а не через лингвистическое

посредничество, которое требует избыточных синтаксических конструкций. Таким образом, LatentMAS перераспределяет вычислительную нагрузку: основная часть работы выполняется в непрерывном пространстве, а текстовый вывод используется только на финальном этапе для формирования ответа пользователю [11].

Точность и качество интеллектуальной деятельности

Анализ точности (Accuracy) на девяти репрезентативных наборах данных показывает, что LatentMAS стабильно превосходит как одиночные модели, так и текстовые мультиагентные системы. Средний прирост точности по сравнению с одиночной моделью составляет 14,6% в последовательной архитектуре и 13,3% в иерархической. При сравнении с TextMAS, использующей те же алгоритмы планирования и те же базовые модели, латентная коллаборация обеспечивает дополнительный прирост в 2,8–4,6%. Превосходство наблюдается во всех категориях задач: математическое и научное рассуждение (GSM8K, AIME, GPQA), понимание здравого смысла (ARC) и генерация программного кода (MBPP+, HumanEval+) [11].

Детальные численные показатели точности, скорости и расхода токенов для последовательной конфигурации системы на различных бенчмарках (ARC, GSM8K, MedQA и др.) обобщены в таблице (рис. 5).

Задачи	Метрики	Qwen3-4B				Qwen3-8B				Qwen3-14B			
		Single	TextMAS	LatentMAS	Улучш.	Single	TextMAS	LatentMAS	Улучш.	Single	TextMAS	LatentMAS	Улучш.
ARC-E	Acc.	95.4	96.4	98.6	↑ 2.2	95.6	99.1	98.8	↓ 0.3	97.2	99.0	99.4	↑ 0.4
	Token	724	2420	581	↓ 76.0%	656	2085	490	↓ 76.5%	608	1670	224	↓ 86.6%
	Speed	369	2874	512	× 5.6	404	3702	1759	× 2.1	551	9171	2124	× 4.3
ARC-C	Acc.	89.2	90.0	92.3	↑ 2.3	91.0	94.6	94.4	↓ 0.2	92.6	95.9	95.6	↓ 0.3
	Token	913	2678	718	↓ 73.2%	846	2252	529	↓ 76.5%	773	2985	426	↓ 85.7%
	Speed	97	1579	260	× 6.1	266	2059	703	× 2.9	338	5125	1136	× 4.5
GSM8K	Acc.	82.4	89.8	88.2	↓ 1.6	81.1	92.3	93.8	↑ 1.5	83.7	93.8	95.2	↑ 1.4
	Token	1136	3172	607	↓ 80.9%	1280	2324	860	↓ 63.0%	1118	3324	644	↓ 80.6%
	Speed	469	1970	375	× 5.3	449	1739	543	× 3.2	536	3729	1952	× 1.9
MedQA	Acc.	47.7	65.3	66.3	↑ 1.0	53.0	75.0	75.3	↑ 0.3	64.7	80.3	80.7	↑ 0.4
	Token	2134	3962	1685	↓ 57.5%	2098	4260	1555	↓ 63.5%	1746	3444	1841	↓ 46.5%
	Speed	236	1267	438	× 2.9	476	1923	928	× 2.1	1360	4142	1420	× 2.9
MBPP+	Acc.	63.5	69.8	73.5	↑ 3.7	64.8	69.5	74.6	↑ 5.1	68.5	72.8	75.7	↑ 2.9
	Token	1634	4420	1339	↓ 69.7%	2053	3695	1164	↓ 68.5%	1858	4971	1621	↓ 67.4%
	Speed	523	2148	577	× 3.7	1064	3628	1275	× 2.8	2410	8728	2400	× 3.6
HumanEval+	Acc.	75.0	79.7	79.9	↑ 0.2	74.4	80.5	80.5	↑ 0.0	76.8	81.1	86.5	↑ 5.4
	Token	2380	5987	1775	↓ 70.4%	2507	4593	1866	↓ 59.4%	2366	5934	2042	↓ 65.6%
	Speed	274	1044	350	× 3.0	502	1619	497	× 3.3	1084	4062	1285	× 3.2

Рис. 5

Ключевым фактором повышения точности является высокая выразительная способность латентных мыслей. Визуализация распределений скрытых состояний подтверждает, что латентные представления в LatentMAS не только охватывают семантическое пространство правильных текстовых ответов, но и обладают большей плотностью и разнообразием. Это позволяет моделям кодировать нюансы и альтернативные пути решения, которые теряются при принудительной дискретизации в токены.

Теоретически обосновано, что один шаг латентного рассуждения передает объем информации, недоступный короткой последовательности слов [11].

Визуализация пространства эмбедингов подтверждает, что сгенерированные латентные мысли охватывают более широкий семантический спектр по сравнению с дискретными текстовыми токенами, обеспечивая более глубокую выразительную способность (рис. 6).

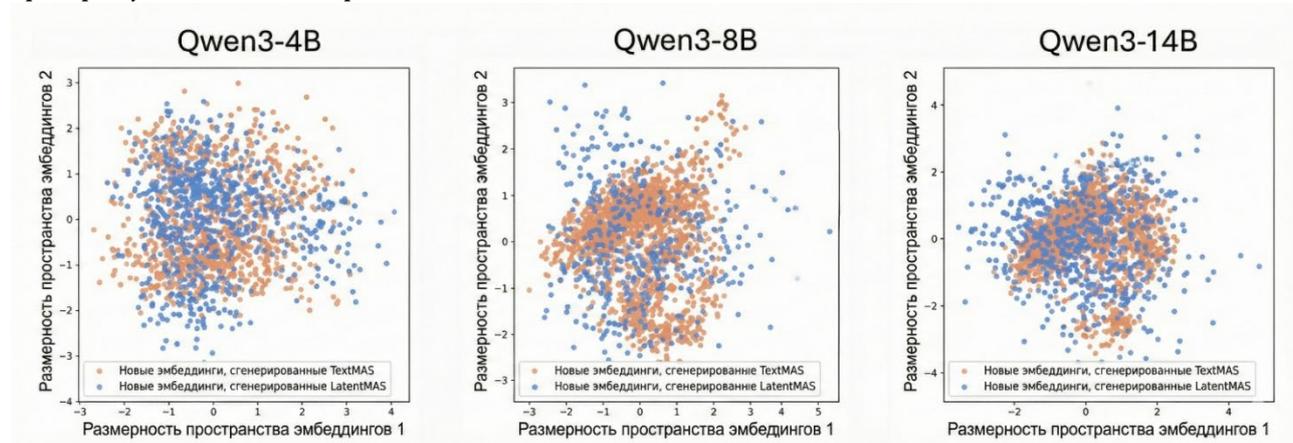


Рис. 6. Диаграмма рассеяния, показывающая, что новые эмбединги LatentMAS покрывают пространство более плотно и широко, чем текстовые

Особое значение имеет способность латентной коллаборации противодействовать накоплению ошибок (error compounding), характерному для текстовых конвейеров. В системах TextMAS ошибки и неверные интерпретации, допущенные агентом-планировщиком, фиксируются в тексте и неизбежно ограничивают пространство поиска для последующих агентов (критика и исполнителя). В LatentMAS агенты обмениваются «мягкими» непрерывными представлениями. Это дает последующим

участникам возможность переосмысливать и корректировать логику предшественников, не ограничиваясь рамками однажды сгенерированного ошибочного текста. Результаты тестирования на задачах GSM8K показывают, что там, где текстовые агенты заходят в тупик из-за неверной промежуточной вербализации, латентные агенты находят верное решение благодаря сохранению полной семантической истории в рабочей памяти [11]. Таким образом, переход в скрытое пространство обеспечивает

не только количественное ускорение, но и качественное изменение динамики коллективного рассуждения, делая его более гибким и устойчивым к деградации логики.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что переход от текстового взаимодействия к прямой коллаборации в скрытом пространстве является необходимым этапом эволюции мультиагентных систем. В работе продемонстрировано, что использование естественного языка как исключительной среды взаимодействия интеллектуальных агентов создает критическое «узкое горлышко», ограничивающее как выразительную способность моделей, так и общую вычислительную эффективность системы.

Основные выводы исследования свидетельствуют о высокой эффективности рассмотренного фреймворка LatentMAS. Реализация механизмов авторегрессионной генерации скрытых мыслей в сочетании с послойной передачей латентной рабочей памяти позволила устранить этапы избыточного декодирования и повторного кодирования информации. Это привело к качественному скачку в производительности: скорость сквозного вывода увеличилась более чем в 4 раза, в то время как объем генерируемых данных сократился на 70,8–83,7% в зависимости от архитектуры взаимодействия.

Особое теоретическое значение имеет подтверждение гипотезы о превосходстве непрерывных представлений над дискретными токенами. Математический анализ показал, что латентные шаги обладают кратно более высокой экспрессивностью, позволяя кодировать сложные семантические структуры, которые теряются при принудительной вербализации. С практической точки зрения это выразилось в устойчивом приросте точности решения логических и математических задач (до 14,6%), а также в способности системы эффективно противодействовать накоплению ошибок, характерному для традиционных текстовых цепочек рассуждений.

Научная новизна работы подтверждается результатами систематизации универсальной методологии, которая не требует дополнительного обучения или настройки весов моделей, что делает её легко интегрируемой в существующие корпоративные ИИ-ландшафты. Проанализированный метод линейного выравнивания распределений успешно решает проблему

стабильности скрытых состояний, обеспечивая предсказуемость работы системы.

В качестве перспективных направлений для дальнейших изысканий следует выделить адаптацию механизмов латентной коллаборации для гетерогенных систем, объединяющих модели различных семейств и размерностей. Разработка обучаемых переходных интерфейсов (адаптеров) позволит расширить область применения LatentMAS, обеспечивая бесшовный обмен знаниями в мультимодальных средах и сложных распределенных сетях искусственного интеллекта.

Литература

1. Chen X. et al. Reasoning Beyond Language: A Comprehensive Survey on Latent Chain-of-Thought Reasoning // arXiv preprint arXiv:2505.16782. – 2025 (дата обращения: 14.01.2026).
2. Fu T. et al. Cache-to-Cache: Direct Semantic Communication Between Large Language Models // arXiv preprint arXiv:2510.03215. – 2025 (дата обращения: 14.01.2026).
3. Hao S. et al. Training large language models to reason in a continuous latent space // arXiv preprint arXiv:2412.06769. – 2024 (дата обращения: 14.01.2026).
4. Li G. et al. Camel: Communicative agents for "mind" exploration of large language model society // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2023. – Т. 36. – P. 51991-52008 (дата обращения: 14.01.2026).
5. Luo J. et al. Large language model agent: A survey on methodology, applications and challenges // arXiv preprint arXiv:2503.21460. – 2025 (дата обращения: 14.01.2026).
6. Tran K.T. et al. Multi-agent collaboration mechanisms: A survey of llms // arXiv preprint arXiv:2501.06322. – 2025 (дата обращения: 14.01.2026).
7. Wu Q. et al. Autogen: Enabling next-gen LLM applications via multi-agent conversations // First Conference on Language Modeling. – 2024 (дата обращения: 14.01.2026).
8. Wu Y., Wu H., Tu K. A systematic study of cross-layer kv sharing for efficient llm inference // Proceedings of the 2025 Conference of the Nations of the Americas Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (Volume 2: Short Papers). – 2025. – P. 396-403 (дата обращения: 14.01.2026).

9. Yang Y. et al. Kvsharer: Efficient inference via layer-wise dissimilar kv cache sharing // arXiv preprint arXiv:2410.18517. – 2024 (дата обращения: 14.01.2026).

10. Yao S. et al. React: Synergizing reasoning and acting in language models // The eleventh international conference on learning

representations. – 2022 (дата обращения: 14.01.2026).

11. Zou J. et al. Latent collaboration in multi-agent systems // arXiv preprint arXiv:2511.20639. – 2025 (дата обращения: 14.01.2026).

ISKANDAROVA Sofia Albertovna

Director of AI Product Development, LLC "RTK IT", Russia, Moscow

FROM TEXT-MEDIATED INTERACTION TO LATENT COLLABORATION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF AGENT INTERACTION APPROACHES IN LLM-BASED MULTI-AGENT SYSTEMS

Abstract. *Multi-agent systems based on large language models are constrained by text-mediated interaction, which introduces semantic and computational losses. The aim of this study is to identify the key advantages of latent collaboration in continuous latent space compared to traditional text-based interaction. A comparative analysis of text-based approaches (AutoGen, CAMEL, ReAct) and latent methods (Coconut, Cache-to-Cache) is conducted. The article examines the LatentMAS architecture, which combines latent thought generation and working memory transfer via key-value cache. Results show 4–4.3x inference speedup, 70.8–83.7% token usage reduction, and up to 14.6% accuracy gain. Theoretical significance lies in substantiating the superiority of continuous representations. Practical value is defined by the scalability of AI systems with minimal costs.*

Keywords: *multi-agent systems, large language models, latent space, latent collaboration, computational efficiency, autoregressive generation, working memory transfer, continuous representations.*

КНЯЗЕВ Дмитрий Сергеевич

магистрант, Курский институт менеджмента, экономики и бизнеса, Россия, г. Курск

*Научный руководитель – старший преподаватель кафедры прикладной информатики
и математики Курского института менеджмента, экономики и бизнеса*

Пожидаева Елена Сергеевна

ПРЕДИКТИВНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЗАДНЕЙ И ПЕРЕДНЕЙ БАБКИ ТОКАРНОГО МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО СТАНКА PUMA С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ С ПОДДЕРЖКОЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ «ЛАПА ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА»

Аннотация. В статье рассматривается внедрение предиктивного обслуживания плавающего центра в задней шпиндельной бабке токарного станка с ЧПУ PUMA при изготовлении изделий типа «Лапа шарошечного долота» в совокупности с анализом работы подшипников в шпинделе передней бабки с дополнением работы искусственного интеллекта на программном уровне.

Ключевые слова: предиктивное обслуживание, искусственный интеллект, промышленное производство, техническое обслуживание, машинное обучение, датчики, аналитика данных, надежность оборудования, оптимизация процессов, сокращение затрат.

Введение

Современное промышленное производство характеризуется возрастающей потребностью минимизации вынужденных остановок технологического оборудования, обусловленной стремлением повысить экономическую эффективность производственных процессов. Одним из перспективных подходов к решению данной проблемы является применение методов предиктивного технического обслуживания, поддержанных искусственным интеллектом (ИИ).

Настоящая статья посвящена разработке и обоснованию инновационной методики предиктивной диагностики и профилактики отказов оборудования, используемого в металлообрабатывающей отрасли, применительно к станкам с числовым программным управлением (ЧПУ) марки PUMA при выполнении операций обработки заготовок типа «лапа шарошечного долота».

Большинство отечественных предприятий продолжают применять систему планово-предупредительного ремонта (ППР), предусматривающую заранее утвержденный график профилактического осмотра и текущего ремонта техники. Несмотря на широкое распространение, данная схема постепенно утрачивает свою

конкурентоспособность ввиду ряда факторов, среди которых высокая конкуренция на рынке, удорожание запасных частей вследствие политики импортозамещения и невозможность равномерного распределения финансовых ресурсов, выделенных на ремонтное обеспечение предприятия.

Перечисленные обстоятельства диктуют необходимость внедрения новых технологических решений, обеспечивающих повышение точности прогнозирования неисправностей и оптимизацию затрат на эксплуатацию оборудования.

Основная часть

1. Описание шарошечного долота, изделия «лапа долота» и проблемы, с которой сталкивается производство

Предиктивное обслуживание станков с ЧПУ (predictive maintenance, PdM) – это подход к техническому обслуживанию оборудования, при котором оптимальное время и необходимость проведения работ определяются на основе анализа фактического состояния и поведения станка. Цель – заранее определить, когда и какие элементы станка нуждаются в ремонте или замене, чтобы минимизировать простои и снизить общие издержки [3].

Цель данной статьи – раскрыть текущую проблему, связанную с постоянным ремонтом станков из-за возникновений отклонений по причине присутствия вибраций при обработке изделий «лапа шарошечного долота», минимизировать затраты на ремонт, простои оборудования, снизить затраты предприятия, увеличить производительность.

Шарошечные долота (рис. 1) представляют собой специализированные инструменты, предназначенные для бурения твердых горных пород и конструкционных материалов путем

дробления материала посредством вращения шарошек с установленными зубьями или твердосплавными вставками. Шарошечное долото состоит из корпуса, внутри которого расположены подвижные элементы – шарошки, вращающиеся вокруг собственных осей и закрепленные на специальных опорных механизмах «лапах». Конструкция обеспечивает эффективную передачу усилия от приводного вала к поверхности обрабатываемого материала, обеспечивая высокую производительность процесса разрушения породы.



Рис. 1. Шарошечное долото

Одним из ключевых элементов конструкции шарошечного долота являются «гидромониторные лапы», в количестве 3 штук на одно трехшарошечное долото, выполняющие роль опорных конструкций, фиксирующих положение шарошек относительно оси вращения инструмента (рис. 2). Лапы воспринимают

значительные механические нагрузки, включая изгибающие моменты и ударные воздействия, возникающие в процессе эксплуатации. Для повышения долговечности и надежности изделия лапы дополняются износостойкими покрытиями и усиленными элементами крепления.



Рис. 2. Состав шарошечного долота

Одна из технологических металлообрабатывающих операций по обработке деталей «лапа долота» является черновая, получистовая и чистовая токарная обработка цапфы лапы на ЧПУ станке. Есть несколько вариантов закрепления изделия на станке. В данной работе будет рассматриваться только один вид – центровая установка. При данной установке изделие закрепляется с помощью центровых отверстий, расположенных на изделии соосно друг другу. С одной стороны деталь упирается в переднюю бабку станка – передний шпиндель через специальное приспособление: токарная планшайба, с другой – поджимается задним вращающимся центром, установленным в заднюю бабку – пиноль задней бабки.

Шарошечные долота широко применяются в бурении скважин, и, учитывая специфику проводимых буровых работ, используются разные размеры этих долот. Соответственно, исходя из заказываемой продукции, в цехе будет обрабатываться разные размеры изделий «лапа долота». Размерная линейка довольно широкая, начиная от самых маленьких размером 46 мм, заканчивая самыми крупными – 660,4 мм. Чем больше размер долота, тем массивнее лапа. Исходя из изображения гидромониторной лапы

на рисунке 2 можно отметить, то изделие не имеет правильной формы. У нее смещен центр тяжести. При обработке на токарном станке вращается заготовка, а режущий инструмент неподвижен, он движется вместе с револьверной головкой станка, куда закреплен по одной или нескольким осям. При вращении заготовки не правильной формы происходит неравномерное распределение веса, вследствие чего узлы станка испытывают нагрузку по вибрации из-за дисбаланса. Нагрузка увеличивается параллельно увеличению габарита изделия и увеличению оборотов шпинделя (вращения заготовки). Исходя из многолетней статистики было замечено, что после обработки партии лап большого габарита требуется проверка на геометрическую точность узлов станка и их корректировку службой главного механика (СГМ). Проблема заключается в том, что узлы станка расшатываются, после чего, когда станок переналаживают на другой, более мелкий габарит этих изделий, появляется отклонение от геометрической формы – овальность малой или большой опоры цапфы. Оно вызывается тем, что передний центр на планшайбе и задний центр на задней бабке приобретают износ подшипников и посадочных поверхностей.

2. Реализация предиктивного обслуживания с ИИ для решения проблемы овальности и простоя оборудования

Для реализации предиктивного обслуживания потребуется, для токарных станков с ЧПУ PUMA, задействованных в обработке цапфы лапы долота, подключить и реализовать систему датчиков, которые будут в режиме реального времени проводить статистические замеры, как нормальной работы, так и работы с отклонениями. Система ИИ, с помощью баз данных, будет собирать статистику всех замеров, при различных вариантах нагрузок. Эти данные будут собираться на сервере компании, которая занимается внедрением предиктивного обслуживания на предприятиях и в виде удобного, понятного, графического интерфейса сайта или приложения, предоставлять информацию сотрудникам компании.

Все данные, полученные с каждого датчика, с каждого станка, в дальнейшем, позволят заблаговременно предупредить компанию о возможной поломке и с минимальными потерями произвести ремонт оборудования, например в ночную смену, когда станок не работает. Также, искусственный интеллект, позволит расширить возможности платформы для предприятия, тем, что в режиме реального времени, сможет производить заказ комплектующих через заявки на снабжение под контролем инженеров, выбирая самые дешевые и качественные возможные запчасти из предлагаемого перечня на рынке запчастей, если на центральном складе завода данные запчасти все же отсутствуют.

Датчики – это ключевой элемент системы предиктивного обслуживания. Они собирают данные о различных параметрах работы оборудования, позволяя отслеживать его состояние в реальном времени. Выбор датчиков зависит от типа оборудования и потенциальных неисправностей. Для решения проблемы овальности на изделиях «лапа шарошечного долота» требуется заблаговременно выявлять проблему в узлах станка и решать её в нерабочее время для сокращения времени простоев и финансовых потерь предприятия. С этой целью, необходимо, установить датчики считывания вибрации и температуры на передний шпиндель и задний центр на задней бабке токарного станка с ЧПУ PUMA.

Датчики вибрации, один из видов датчиков для предиктивного обслуживания. Они измеряют вибрацию оборудования, что может указывать на дисбаланс, ослабление креплений,

износ подшипников и другие проблемы. Например, датчик вибрации с диапазоном измерения 0–25 мм/с и частотным диапазоном 10–1000 Гц может быть использован для мониторинга состояния подшипников в электродвигателях.

Датчики температуры контролируют температуру различных узлов оборудования. Повышенная температура может свидетельствовать о перегрузке, плохой смазке или неисправности системы охлаждения. Инфракрасные датчики температуры позволяют бесконтактно измерять температуру поверхности оборудования.

Для успешного внедрения предиктивной аналитики на предприятии необходимо пройти несколько ключевых этапов [2]:

1. Обследование системы: проводится диагностика технологического оборудования с целью выявления «узких» мест, влияющих на его производительность. На основе полученных результатов разрабатываются системы датчиков, обеспечивающих контроль и прогнозирование потенциальных неисправностей.

2. Сбор данных: установка датчиков на оборудование для мониторинга его состояния. Датчики фиксируют показатели вибрации, тока, температуры и других параметров, которые затем передаются в систему для анализа.

3. Обработка данных: полученные данные фильтруются и преобразуются для анализа. На этом этапе важно обеспечить корректную фильтрацию, чтобы исключить лишние шумы и сохранить ключевые параметры.

4. Анализ данных: основным методом анализа является спектральный и трендовый анализ вибраций. Это позволяет выявить скрытые дефекты и оценить динамику изменения состояния оборудования.

5. Прогнозирование: на основе собранных данных система строит прогнозы по остаточному ресурсу оборудования. Это даёт возможность заранее определить, когда потребуется проведение технического обслуживания, предотвращая аварийные остановки.

3. Экономическая выгода и увеличение производительности

Экономическая выгода и увеличение производительности внедрения предиктивного обслуживания в данной статье рассмотрится для парка токарных станков с ЧПУ предприятия, задействованных не только для обработки лап шарошечного долота, но и в производстве продукции завода в целом.

Стоимость затрат на простои в

производстве БУРИНТЕХ анализируется и рассматривается финансово-экономической службой предприятия. В таблице 1 приводятся значения затрат на 2024 год на

токарные станки с ЧПУ. В целях конфиденциальности информации будут приводиться данные по средним значениям групп оборудования.

Таблица 1

Расчет средней стоимости простоя токарных станков с ЧПУ

Наименование	Количество, шт.	Стоимость простоя при 1 сменном графике работы, тыс. руб./час	Стоимость простоя при 2 сменном графике работы, тыс. руб./час	Стоимость простоя при 3 сменном графике работы, тыс. руб./час
Токарные станки с ЧПУ	30	4254	2530	2006

Исходя из этих данных видно, что стоимость оборудования меняется в сторону уменьшения при увеличении его эксплуатации по сменам.

Так как компаний, предоставляющих услуги по внедрению предиктивного обслуживания несколько и высока индивидуальность внедрения, в зависимости от различных показателей завода и оборудования, к которому будет подключаться система, экономическая эффективность в сравнении будет оцениваться ориентировочно, исходя из тех данных, которые находятся в свободном доступе.

Исходную информацию по стоимости услуг возьмем из компании «Sinto» [1]. На один станок ЧПУ требуется потратить от 350 тыс.

рублей. Возьмем среднее значение – 450 тыс. рублей. Основываясь на данные из таблицы 5, на предприятии действуют 30 токарных станков с ЧПУ. На весь парк станков потребуется $30 * 450\ 000 = 13\ 500\ 000$ рублей. Опираясь на данные, взятые с компании БУРИНТЕХ, среднее значение количества поломок оборудования в год – 5 раз. Так предиктивное обслуживание рассчитано на долгий срок, будет использоваться период 3 года.

За три года, в среднем, каждое оборудование, простаивающее 16 часов при двухсменном графике работы будет затрачивать стоимость, указанную в таблице 2.

Таблица 2

Стоимость простоя оборудования за три года в компании БУРИНТЕХ при средних значениях

Наименование	Количество, шт.	Стоимость простоя при 2 сменном графике работы, тыс. руб./час	Стоимость простоя при 16-часовом ремонте в среднем, руб. в год	Стоимость простоя при 16-часовом ремонте в среднем, руб. за три года
Токарные станки с ЧПУ	30	2530	$2530 * 16 * 5 * 30 = 6\ 072\ 000$	18 216 000

Резюмируя подсчеты в таблице 2, можно подвести итоги. За три года работы предприятия БУРИНТЕХ в среднем, затраты на простой токарных станков с ЧПУ по причине их ремонта, составляет: 18 216 000 рублей

Рассмотрев статистику и информацию компании «Sinto», на рисунке № 3 можно отметить,

что продавец услуг позволяет уменьшить затраты на ремонт и количество внеплановых простоев почти на 50%. Это говорит, что стоимость затрат на простои и ремонт токарных станков с ЧПУ, в компании БУРИНТЕХ можно уменьшить до 9 108 000 рублей за три года.



Рис. 3. ROI и экономический эффект от внедрения предиктивного обслуживания в компании «Sinto»

Таким образом, предприятие может сэкономить на простоях токарного оборудования с ЧПУ каждый год – 3 036 000 рублей. При одноразовых затратах на внедрение предиктивного обслуживания в 13 500 000 рублей срок окупаемости услуг составит $13\,500\,000 / 3.036.000 = 4$ года и 2 месяца. После этого срока, каждый год, БУРИНТЕХ может реализовывать 3 036 000 рублей на дальнейшее улучшение и развитие экономического состояния предприятия. Данная цифра является ориентировочной, так как с каждым годом, использование предиктивного обслуживания, позволит уменьшать количество ремонтов и увеличивать срок службы станков, а, следовательно, 3 036 000 рублей это минимальная цифра выгоды, которая будет расти с каждым годом, если будет соблюдаться экономика амортизации оборудования.

Заключение

Внедрение методики предиктивного обслуживания с использованием искусственного интеллекта представляет собой эффективный способ оптимизации производственного процесса и снижения эксплуатационных расходов на промышленных предприятиях. Предложенная методика направлена на предотвращение внезапных сбоев и повышение общей эффективности производства деталей типа «лапа ша рошечного долота» на токарных станках с ЧПУ модели PUMA.

Основные выводы исследования:

1. Повышение точности диагностирования: применение технологии предиктивного обслуживания позволяет своевременно выявлять отклонения в состоянии оборудования, снижая риск выхода из строя критически важных компонентов, таких как подшипники шпинделя передней и задней бабки.

2. Оптимизация ремонтных мероприятий: благодаря точной диагностике, производственное предприятие получает возможность планировать техническое обслуживание и ремонт в удобное время, уменьшая потери рабочего времени и финансовые расходы.

3. Минимизация простоя оборудования: использование искусственного интеллекта и встроенной системы мониторинга снижает частоту неожиданных остановок производства, увеличивая общий объем выпускаемой продукции.

4. Экономический эффект: проведенный расчет показывает, что внедрение предложенного подхода обеспечивает значительную экономию денежных средств за счет предотвращения дорогостоящих внеплановых ремонтов и уменьшает общую продолжительность простоев оборудования.

Внедрение предиктивных технологий обслуживания в сочетании с искусственным интеллектом способствует повышению конкурентоспособности предприятия и обеспечению стабильной работы производственной линии, что особенно актуально в условиях современного рынка, характеризующегося жесткой конкуренцией и высокими расходами на поддержание работоспособности оборудования.

Литература

1. Внедрение системы предиктивного обслуживания // Сайт sinto-tech.ru Электронный ресурс. – URL: <https://sinto-tech.ru/services/prediktivnoe-obsluzhivanie-oborudovaniya/> (дата обращения: 20.11.2025).

2. Предиктивная аналитика в промышленности: путь к повышению эффективности и снижению затрат // Сайт: habr.com Электронный ресурс. – URL: <https://habr.com/ru/articles/849364/?ysclid=miquejmnjoc87043938> (дата обращения: 29.12.2025).

3. Предиктивное обслуживание оборудования на основе данных с датчиков: взгляд изнутри // Сайт: ek-top.ru Электронный ресурс. – URL: <https://ek-top.ru/articles/elektrotehnika/predictive-maintenance-equipment-sensor-data/> (дата обращения: 30.12.2025).

KNYAZEV Dmitry Sergeevich

Master's Student, Kursk Institute of Management, Economics and Business, Russia, Kursk

*Scientific Advisor – Senior Lecturer at the Department of Applied Informatics and Mathematics
at the Kursk Institute of Management, Economics and Business Pozhidaeva Elena Sergeevna*

**PREDICTIVE MAINTENANCE OF THE TAILSTOCK AND HEADSTOCK
OF A NUMERICALLY CONTROLLED PUMA METALWORKING MACHINE
WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE SUPPORT IN THE MANUFACTURE
OF BALL CHISEL PARTS**

Abstract. *The article discusses the implementation of predictive maintenance of a floating center in the tailstock of a PUMA CNC lathe in the manufacture of products such as "Ball chisel paw" in conjunction with the analysis of bearings in the headstock spindle with the addition of artificial intelligence at the software level.*

Keywords: *predictive maintenance, artificial intelligence, industrial production, technical maintenance, machine learning, sensors, data analytics, equipment reliability, process optimization, cost reduction.*

РУЖИЦКИЙ Данила Михайлович

студент,

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Россия, г. Санкт-Петербург

СЕТЕВЫЕ АТАКИ УРОВНЯ L3–L7 И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ

Аннотация. В статье рассматриваются сетевые атаки, реализуемые на уровнях модели OSI с третьего по седьмой, а также современные методы защиты информационных систем от подобных угроз. Проанализированы особенности атак сетевого, транспортного, сеансового, представительного и прикладного уровней, включая DDoS-атаки, перехват трафика, атаки на приложения и уязвимости протоколов. Рассматриваются современные подходы к обеспечению безопасности, такие как межсетевые экраны нового поколения, системы обнаружения и предотвращения вторжений, веб-экраны приложений и криптографическая защита. Сделан вывод о необходимости комплексного и многоуровневого подхода к защите информационных систем в условиях роста сетевых угроз.

Ключевые слова: сетевые атаки, модель OSI, информационная безопасность, DDoS, IDS/IPS, WAF, сетевые протоколы, защита информации.

Современные информационные системы функционируют в условиях постоянного роста сетевых угроз. Развитие сетевых технологий, распределённых вычислений и облачных платформ привело к увеличению числа потенциальных уязвимостей, используемых злоумышленниками для нарушения конфиденциальности, целостности и доступности информации. Особую опасность представляют атаки, направленные на сетевые и прикладные уровни взаимодействия.

Модель OSI широко используется для классификации сетевых атак и средств защиты. Наиболее критичными для функционирования информационных систем являются атаки, реализуемые на уровнях L3–L7, поскольку именно на этих уровнях осуществляется маршрутизация данных, управление соединениями и взаимодействие приложений. Такие атаки способны не только нарушить доступность сервисов, но и привести к утечке данных или компрометации системы.

Цель данной статьи – проанализировать основные виды сетевых атак на уровнях L3–L7 модели OSI и рассмотреть современные методы защиты информационных систем от данных угроз.

В рамках исследования использованы следующие методы:

- анализ научных публикаций и учебной литературы по информационной безопасности и сетевым технологиям;

- изучение стандартов и рекомендаций в области защиты сетей;
- классификация сетевых атак по уровням модели OSI;
- обобщение практик защиты, применяемых в корпоративных и облачных информационных системах.

Материалами исследования послужили научные статьи, монографии, а также техническая документация и отчёты в области сетевой безопасности.

Сетевые атаки на уровнях L3–L7 модели OSI различаются по механизмам реализации и последствиям для информационных систем. На третьем уровне, сетевом, атаки направлены на нарушение маршрутизации и доставки пакетов. К наиболее распространённым относятся IP-spoofing, атаки с подменой маршрутов и сетевые DDoS-атаки, использующие перегрузку каналов связи. Такие воздействия могут привести к полной недоступности сетевых ресурсов.

На транспортном уровне (L4) злоумышленники часто используют особенности протоколов TCP и UDP. Типичными примерами являются SYN-flood-атаки, при которых сервер перегружается большим количеством полуоткрытых соединений, а также атаки с использованием UDP-флуда. Эти воздействия направлены на истощение ресурсов системы и нарушение работы сетевых сервисов.

Атаки на сеансовом и представительном уровнях (L5–L6) встречаются реже, однако они могут использовать уязвимости механизмов

управления сессиями и кодирования данных. Нарушение целостности сеанса связи или манипуляции с форматами данных способны привести к ошибкам обработки информации и снижению уровня безопасности.

Наиболее опасными считаются атаки прикладного уровня (L7). Они направлены непосредственно на веб-приложения и сервисы, использующие протоколы HTTP, HTTPS, FTP и другие. К таким атакам относятся SQL-инъекции, межсайтовый скриптинг, атаки на аутентификацию и логические уязвимости приложений. Особенностью L7-атак является их сложность обнаружения, поскольку они маскируются под легитимный пользовательский трафик.

Для защиты от атак уровней L3–L4 широко применяются межсетевые экраны и системы фильтрации трафика. Современные межсетевые экраны нового поколения (NGFW) способны анализировать пакеты не только по заголовкам, но и по содержимому, что повышает эффективность защиты. Использование балансировщиков нагрузки и механизмов ограничения скорости также снижает эффективность DDoS-атак.

На уровнях L5–L7 ключевую роль играют системы обнаружения и предотвращения вторжений (IDS/IPS), а также веб-экраны приложений (WAF). Эти средства анализируют поведение трафика и выявляют аномалии, характерные для атак. WAF позволяет защищать веб-приложения от специфических угроз прикладного уровня, включая инъекции и атаки на сессии пользователей.

Дополнительным уровнем защиты является применение криптографических методов. Использование протоколов TLS обеспечивает конфиденциальность и целостность передаваемых данных, снижая риск перехвата и подмены информации. В сочетании с сегментацией сети и принципом минимальных привилегий это позволяет существенно повысить уровень безопасности информационной системы.

Таким образом, эффективная защита от сетевых атак L3–L7 требует комплексного подхода, включающего технические, организационные и программные меры. Отказ от

одноуровневых решений и переход к многоуровневой защите является ключевым фактором устойчивости современных информационных систем.

Сетевые атаки уровней L3–L7 представляют серьёзную угрозу для современных информационных систем, поскольку затрагивают ключевые механизмы передачи данных и функционирования приложений. Анализ показал, что каждую группу атак характеризуют собственные методы реализации и последствия для безопасности системы.

Результаты исследования подтверждают, что эффективная защита возможна только при использовании комплексных решений, сочетающих межсетевые экраны, системы IDS/IPS, веб-экраны приложений и криптографические методы защиты. В условиях роста объёмов сетевого трафика и усложнения атак особую актуальность приобретает многоуровневая архитектура безопасности, ориентированная на предотвращение, обнаружение и реагирование на инциденты.

Таким образом, обеспечение защиты от сетевых атак L3–L7 является неотъемлемой частью проектирования и эксплуатации современных информационных систем.

Литература

1. Stallings W. Network Security Essentials: Applications and Standards. Pearson, 2017.
2. Kurose J., Ross K. Computer Networking: A Top-Down Approach. Pearson, 2021.
3. Scarfone K., Mell P. Guide to Intrusion Detection and Prevention Systems (IDS/IPS). NIST, 2007.
4. Behl A., Behl K. Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know. Oxford University Press, 2017.
5. Галатенко В.А. Основы информационной безопасности. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2018.
6. Зайцев А.П. Сетевые атаки и методы защиты информации. М.: Горячая линия – Телеком, 2020.
7. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2022.

RUZHITSKY Danila Mikhailovich

Student,

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Russia, Saint Petersburg

L3–L7 NETWORK ATTACKS AND MODERN PROTECTION METHODS

Abstract. *The article discusses network attacks implemented at the levels of the OSI model from the third to the seventh, as well as modern methods of protecting information systems from such threats. The features of network, transport, session, representative, and application-level attacks, including DDoS attacks, traffic interception, attacks on applications, and protocol vulnerabilities, are analyzed. Modern approaches to security are considered, such as new generation firewalls, intrusion detection and prevention systems, web application screens and cryptographic protection. The conclusion is made about the need for an integrated and multi-level approach to protecting information systems in the face of growing network threats.*

Keywords: *network attacks, OSI model, information security, DDoS, IDS/IPS, WAF, network protocols.*

СИМАКОВ Михаил Никлаевич

магистрант,

Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С. М. Штеменко,
Россия, г. Краснодар

УВАРОВ Алексей Львович

магистрант,

Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С. М. Штеменко,
Россия, г. Краснодар

ИЛЬИН Кирилл Алексеевич

магистрант,

Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С. М. Штеменко,
Россия, г. Краснодар

ПРОБЛЕМЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ МОНИТОРИНГА СОБЛЮДЕНИЯ ПОЛИТИК ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ (ИНФОРМАЦИОННЫХ) СИСТЕМ

***Аннотация.** В статье рассматривается проблема обеспечения мониторинга информационной безопасности при объединении разрозненных автоматизированных систем в единую информационную среду организации. Показано, что рост числа автоматизированных систем приводит к кратному увеличению объема циркулирующих данных, дублированию функций обработки и усложнению задач защиты информации, включая требования регуляторов к регистрации и анализу событий безопасности.*

***Ключевые слова:** информационная безопасность, мониторинг информационной безопасности, информационная среда, автоматизированные системы.*

В настоящее время фактически во всех организациях неизменно наблюдается рост количества автоматизированных систем (далее – АС), который обусловлен в первую очередь увеличением объемов решаемых задач и, соответственно, повышенными требованиями к оперативности их выполнения.

При этом создание большого количества АС неизбежно приводит к кратному увеличению объемов циркулирующей в них информации, дублированию функций ее обработки, что негативно сказывается на оперативности и качестве выполнения должностными лицами своих обязанностей.

В целях организации централизованной обработки информации, циркулирующей в различных, АС, владельцы АС приходят к решению об объединении их в рамках одной информационной среды (далее – ИС).

Таким образом, ИС может объединять в себе АС, обеспечивающие повседневную

деятельность организации, а также государственные информационные системы и информационные системы персональных данных.

При этом обеспечение безопасности информации, обрабатываемой в объединяемых, АС, является одним из основных требований регуляторов (ФСБ России и ФСТЭК России).

Одним из основных требований к ИС является проведение мониторинга информационной безопасности.

Мониторинг информационной безопасности (далее – ИБ) в АС в соответствии с [1] представляет собой процесс постоянного наблюдения и анализа результатов регистрации СБ и иных данных с целью выявления нарушений безопасности информации, угроз безопасности информации и уязвимостей.

При осуществлении мониторинга ИБ в ИС должна обеспечиваться возможность получения информации о зарегистрированных событиях безопасности и иных данных,

необходимых для мониторинга ИБ, от различных источников, таких как средства защиты информации, программное обеспечение, программно-технические средства, информационные сервисы, среда функционирования АС и иные источники.

Проблемным вопросом при организации подсистемы мониторинга ИБ в ИС, является тот факт, что объединяемые в рамках ИС АС имеют гетерогенные (разрозненные) подсистемы защиты информации, что подразумевает необходимость внедрения единого подхода к построению подсистемы защиты информации и подсистемы мониторинга информационной безопасности, который в настоящее время отсутствует.

Указанный проблемный вопрос усугубляется тем, что структура подразделений, осуществляющих мониторинг безопасности информации в ИС, имеет значительные ограничения как в технических, так и в людских ресурсах. При этом эффективное функционирование подсистемы мониторинга ИС является одним из важнейших условий обеспечения как основных свойств безопасности информации (конфиденциальность, целостность, доступность), так и систем защиты информации в целом.

Создание ИС задачу поддержания должного уровня эффективности функционирования подсистем защиты информации и мониторинга естественным образом усложнит, особенно на начальном этапе.

В таких условиях необходимо определиться, за счет какого из показателей (результативность, ресурсоемкость, оперативность) можно повысить эффективность функционирования указанных подсистем.

Для этого необходимо рассмотреть действия возможного нарушителя, а также действия лиц, осуществляющих мероприятия по обеспечению безопасности информации (орган ОБИ).

Действия нарушителя могут быть описаны зависимостью (1):

$$f = 1 - e^{-\lambda t^2}, \quad (1)$$

Где:

λ – уровень подготовки нарушителя;

t – время начала действий нарушителя.

Временная диаграмма действия нарушителя представлена на рисунке 1.

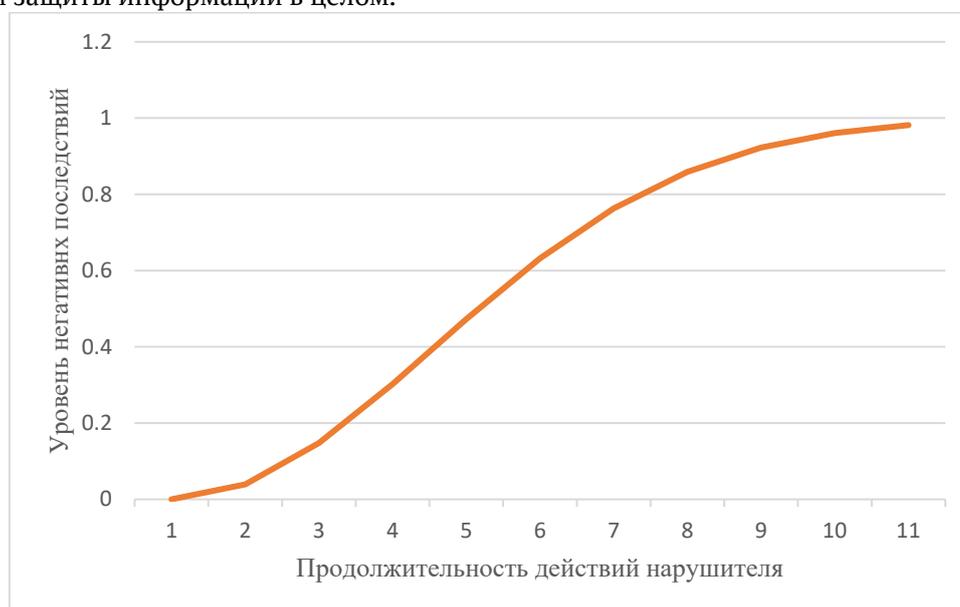


Рис. 1. Временная диаграмма действий нарушителя

Указанная диаграмма показывает, что при отсутствии противодействия уровень негативных последствий от воздействия нарушителя на систему со временем приблизится к максимальному значению, принятому за 1. При этом чем выше уровень подготовки нарушителя λ , тем меньше потребуются времени на достижение указанного значения.

Действия органа ОБИ при этом могут быть описаны зависимостью (2):

$$f = e^{-\lambda t^2}, \quad (2)$$

Где:

λ – уровень подготовки органа ОБИ;

t – время обнаружения инцидента.

Временная диаграмма действий органа ОБИ представлена на рисунке 2.

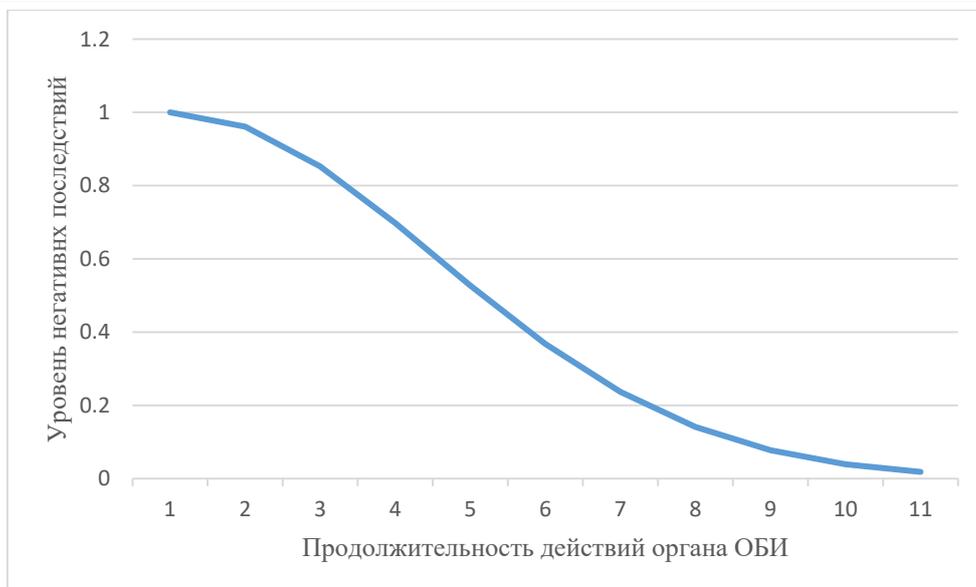


Рис. 2. Временная диаграмма действий органа ОБИ

Деятельность органа ОБИ должна быть направлена на минимизацию негативных последствий от действий нарушителя. Если принять уровень подготовки нарушителя и органа ОБИ идентичными, то очевидно, что уровень негативных последствий от действий нарушителя в конечном счете будет зависеть от того,

на сколько быстро орган ОБИ начнет противодействие. Временная диаграмма реагирования органа ОБИ на действия нарушителя представлена на рисунке 3, где S – негативные последствия от действий нарушителя в условиях противодействия органа ОБИ.

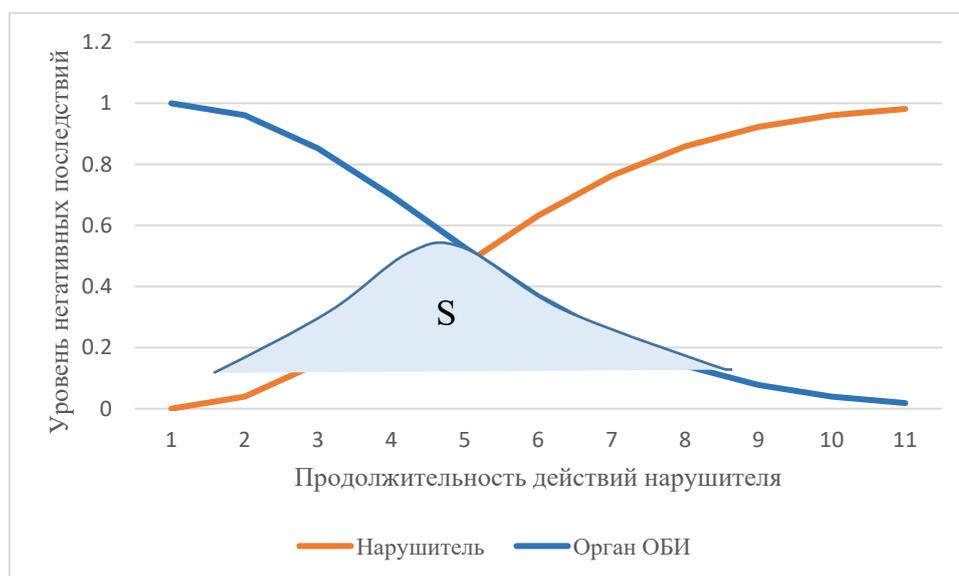


Рис. 3. Временная диаграмма реагирования на инцидент ИБ

Таким образом, при имеющихся ограничениях на людские и технические ресурсы, для повышения эффективности функционирования подсистемы мониторинга ИС необходимо повышать оперативность реагирования на инциденты ИБ.

На сегодняшний день в подсистемах мониторинга соблюдения политик ИБ в соответствии с [1] выделяются следующие уровни мониторинга:

- уровень источников данных;
- уровень сбора данных;
- уровень хранения, агрегирования и обработки данных;
- уровень представления информации и данных мониторинга.

Уровни мониторинга представлены на рисунке 4.

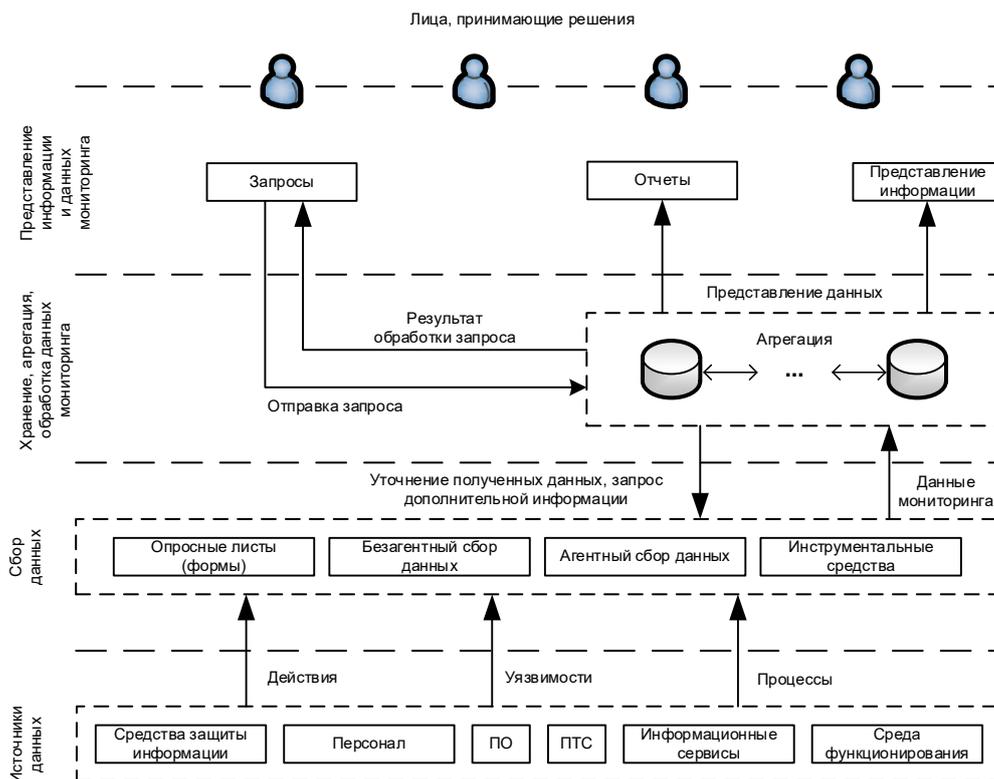


Рис. 4. Уровни мониторинга ИБ

Уровень мониторинга определяет совокупность мероприятий с целью решения определенных задач.

На уровне хранения, агрегирования и обработки данных для каждого события ИБ в обязательном порядке в соответствии с [2] присваивается один из уровней важности: отладочный, низкий, средний, высокий, критический, фатальный, аварийный.

В дальнейшем дежурной сменой по защите информации должно быть принято решение по дальнейшему реагированию на каждое событие.

При этом нередко случаи, когда в разных АС регистрируются события с одинаково высоким уровнем важности. Учитывая ограничения в людских и технических ресурсах, что обуславливает отсутствие возможности масштабирования (расширения) дежурной смены, задача реагирования на большое количество событий ИБ значительно усугубляется: зачастую реагирование начинается на событие, которое в конечном счете может повлечь меньший ущерб, чем на то событие, которое «ожидает своей очереди». Иными словами, проблемный вопрос состоит в том, что дежурной смене необходимо в кратчайшие сроки определять, какое же из «важных» событий «самое важное».

Таким образом, в описанных условиях дежурной смене важно определить приоритетность реагирования на такие события, для чего необходимо внедрение централизованного процесса мониторинга, отсутствие которого в конечном итоге может привести к снижению оперативности реагирования на критичные события, а соответственно к увеличению размера возможного ущерба от действий нарушителя.

В соответствии с [2] установлены требования к составу и содержанию информации, которая подлежит регистрации, а также определены типы событий безопасности, подлежащих регистрации.

При этом каждый тип содержит целый набор отдельных событий безопасности, что подтверждает тот факт, что при осуществлении мониторинга в какой-либо отдельно взятой АС дежурной смене необходимо в сжатые сроки обрабатывать большое количество информации. Естественно, при объединении нескольких АС в одну систему, как это происходит при создании ИС, количество обрабатываемых событий кратно возрастает.

В данных условиях предлагается организовать функционирование централизованной подсистемы мониторинга соблюдения политики безопасности ИС, которая предполагает внедрение на уровне хранения, агрегации,

обработки данных мониторинга процесса определения приоритетности обработки событий безопасности, собранных от различных источников, с учетом присвоенных уровней важности.

Литература

1. ГОСТ Р 59547-2021 Защита информации. Мониторинг информационной безопасности. Общие положения.
2. ГОСТ Р 59548-2022 Защита информации. Регистрация событий безопасности. Требования к регистрируемой информации.

SIMAKOV Mikhail Nikolaevich

Master's Student,

Krasnodar Higher Military College named after General of the Army S. M. Shtemenko,
Russia, Krasnodar

UVAROV Alexey Lvovich

Master's Student,

Krasnodar Higher Military College named after General of the Army S. M. Shtemenko,
Russia, Krasnodar

ILYIN Kirill Alekseevich

Master's Student,

Krasnodar Higher Military College named after General of the Army S. M. Shtemenko,
Russia, Krasnodar

PROBLEMS OF MONITORING COMPLIANCE WITH INFORMATION SECURITY POLICIES WHEN COMBINING HETEROGENEOUS AUTOMATED (INFORMATION) SYSTEMS

Abstract. *The article discusses the problem of ensuring information security monitoring when combining disparate automated systems into a single information environment of an organization. It is shown that the increase in the number of automated systems leads to a multiple increase in the volume of circulating data, duplication of processing functions and complication of information security tasks, including regulatory requirements for registration and analysis of security events.*

Keywords: *information security, information security monitoring, information environment, automated systems.*

ТОМИЛОВ Алексей Владиславович

студент,

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова,
Россия, г. Санкт-Петербург

*Научный руководитель – декан факультета информационных и управляющих систем
Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова,
доктор технических наук, профессор Страхов Сергей Юрьевич*

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СВЯЗИ
В СИСТЕМАХ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА**

Аннотация. Статья посвящена решению проблемы деградации качества обслуживания (QoS) в системах широкополосного радиодоступа, использующих технологию ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM), в условиях высокой мобильности абонентов. Анализируются ключевые факторы ухудшения характеристик: межканальная интерференция (ICI), вызванная эффектом Доплера, и частотно-селективные замирения. В качестве решения предложен комплексный синергетический метод, объединяющий аппаратную компенсацию доплеровского сдвига, адаптивную модуляцию и кодирование (AMC) с прогнозированием состояния канала, а также адаптивное управление мощностью (APC). Приводится теоретическое обоснование метода, оценка его эффективности и описание полного цикла проектирования аппаратного ядра OFDM-модема, реализующего данный подход. Результаты моделирования показывают, что применение комплекса позволяет обеспечить целевой коэффициент ошибок ($BER \leq 10^{-4}$) при скоростях движения до 200 км/ч, повысить среднюю спектральную эффективность на 22–25% и снизить среднюю излучаемую мощность на 20–35% по сравнению с системами, использующими только базовую компенсацию.

Ключевые слова: OFDM, высокая мобильность, доплеровский сдвиг, адаптивная модуляция, адаптивное управление мощностью, качество обслуживания, проектирование модема.

Введение

Технология OFDM и её производные составляют основу современных стандартов широкополосной беспроводной связи благодаря высокой спектральной эффективности и устойчивости к межсимвольной интерференции [1]. Однако в сценариях, связанных с высокой мобильностью абонентов, ключевое преимущество OFDM – ортогональность поднесущих – нарушается из-за эффекта Доплера [2, 3]. Доплеровский сдвиг частоты приводит к потере ортогональности между поднесущими, вызывая ICI. Это ведёт к значительному росту BER, деградации пропускной способности и увеличению задержек, что недопустимо для сервисов реального времени. Актуальность решения данной проблемы возрастает с развитием сетей пятого и шестого поколений, где поддержка связи с высокоподвижными объектами является одним из ключевых требований.

Существующие методы борьбы с последствиями высокой мобильности, такие как AMC

и APC, часто исследуются изолированно [4, с. 27-68; 5, с. 882-884]. Их эффективность в условиях быстрых замираний напрямую зависит от точности и скорости оценки состояния канала, что затруднительно при значительном некомпенсированном доплеровском сдвиге. Таким образом, необходим комплексный подход, в котором аппаратная стабилизация сигнала является базисом для работы интеллектуальных алгоритмов адаптации.

Целью данной работы является разработка и теоретическое обоснование такого синергетического комплекса методов, а также проектирование аппаратной платформы OFDM-модема, реализующей предложенные решения для работы в условиях скорости движения до 200 км/ч.

1. Анализ проблемы и архитектура комплексного метода

Основной причиной деградации QoS в OFDM-системах при мобильности является доплеровский сдвиг. Для типичных условий

работы систем фиксированного беспроводного доступа и мобильной связи (несущая частота 3.4 ГГц, скорость 200 км/ч) максимальный сдвиг достигает ~1.2 кГц [2]. При стандартной ширине поднесущей это приводит к относительному сдвигу около 8%, что является критичным значением, вызывающим существенный рост ICI и BER [3].

Ключевая идея предлагаемого метода заключается в создании каскадной архитектуры, где выход каждого блока оптимизирует условия работы последующего.

1. Контур аппаратной компенсации Доплера. На приёмной стороне на основе пилот-сигналов оценивается и корректируется частотный сдвиг. Этот блок служит «стабилизатором» канала, существенно снижая уровень ICI и делая оценку канала предсказуемой.

2. Контур оценки состояния канала. На основе скорректированных пилот-сигналов вычисляется текущее и прогнозируемое значение отношения сигнал/помеха+шум (SINR). Для компенсации задержки обратной связи используется простое прогнозирование [4, с. 27-68].

3. Контуры адаптивного управления (AMC и APC). Алгоритм AMC на основе прогнозируемого SINR и стандартных таблиц выбирает оптимальную схему модуляции и кодирования (MCS). Алгоритм APC, используя выбранный MCS в качестве целевого SINR, рассчитывает необходимую корректировку мощности передатчика для минимизации энергопотребления [5, с. 882-884; 6, с. 185-396].

4. Синергетический эффект заключается в том, что компенсация Доплера создаёт «очищенный» от быстрых искажений сигнал, что позволяет блоку оценки канала давать точные и стабильные данные. Это повышает эффективность AMC (алгоритм может принимать более агрессивные решения) и APC (контур управления становится более точным и быстрым). После того как AMC переключается на более устойчивую схему модуляции, для её работы требуется меньшая мощность, что позволяет APC снизить излучаемую мощность, экономя энергию.

2. Оценка эффективности и проектирование аппаратной платформы

Математическое моделирование в среде MATLAB для стандартной модели канала с доплеровским сдвигом 1.2 кГц [2] позволило дать количественную оценку эффективности предложенного комплекса:

Прирост спектральной эффективности: за счёт адаптивного выбора схем модуляции от

QPSK до 64-QAM средняя спектральная эффективность системы повышается на 22–25% по сравнению с фиксированной модуляцией 64-QAM, которая в условиях замираний часто недостижима [4, с. 27-68].

Снижение энергопотребления: связка AMC и APC позволяет снизить среднюю излучаемую мощность передатчика на 20–35% без ущерба для целевого BER, который в системе удаётся удерживать на уровне $\leq 10^{-4}$ [5, с. 882-884; 6, с. 185-396].

Для практической реализации метода спроектировано аппаратное ядро OFDM-модема. Выбор элементной базы был обусловлен требованиями к вычислительной мощности для алгоритмов компенсации и адаптации, а также к точности аналогового тракта:

1. Ядро обработки сигналов: в качестве базового процессора выбран цифровой сигнальный процессор (DSP) ADSP-BF707, производительности которого (1000 MMACS) достаточно для реализации БПФ, алгоритмов компенсации Доплера и логики AMC/APC в реальном времени [7].

2. Аналого-цифровой интерфейс: для обеспечения высокой динамики и точности применены 16-битные преобразователи ADS62P49 (АЦП, 250 MSPS) и AD9789 (ЦАП, 1600 MSPS) [8, 9].

3. Радиочастотный тракт: спроектирован на основе широкополосного квадратурного модулятора ADL5375 и усилителя мощности QPA2211, обеспечивающего линейную работу с 64-QAM при выходной мощности до +23 дБм [10, 11].

4. Системы обеспечения: разработаны гибридная система питания на основе высокоэффективных импульсных стабилизаторов (например, TPS54560) с общим КПД >75% [12] и система синхронизации с ультранизким джиттером на базе генератора Si5341 [13], что критично для сохранения высокого SNR.

Заключение

В работе предложен и детально обоснован комплексный метод повышения качества связи в OFDM-системах для условий высокой мобильности. Его отличительная черта – синергетическая архитектура, в которой аппаратная компенсация доплеровского сдвига, адаптивная модуляция и адаптивное управление мощностью работают согласованно, взаимно усиливая эффект друг друга.

Теоретическая оценка демонстрирует значимое улучшение ключевых показателей: обеспечение целевого BER $\leq 10^{-4}$ при скоростях до 200 км/ч, повышение спектральной

эффективности на 22–25% и снижение энергопотребления на 20–35%. Представленный законченный проект аппаратного ядра OFDM-модема, включая расчёты и выбор конкретной современной элементной базы, подтверждает реализуемость предложенных методов на практике. Результаты работы могут быть использованы при разработке оборудования для сетей связи нового поколения, систем связи для интеллектуального транспорта и других приложений, требующих надёжного широкополосного доступа в условиях мобильности.

Литература

1. Goldsmith A. *Wireless Communications*. Cambridge University Press, 2005.
2. 3GPP TR 38.901. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz. V18.0.0, 2024.
3. Molisch A.F. *Wireless Communications*. 3rd ed. Wiley-IEEE Press, 2023.
4. Wang H., Liu A., Pan Z. et al. A Survey of Adaptive Modulation and Coding for 5G and Beyond // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2022. Vol. 24, No. 1. P. 27-68.
5. Kim D., Lee H., Hong D. A Power Control Algorithm with Adaptive Modulation for OFDMA Systems // *IEEE Communications Letters*. 2009. Vol. 13, No. 12. P. 882-884.
6. Zappone A., Jorswieck E. Energy Efficiency in Wireless Networks via Fractional Programming Theory // *Foundations and Trends in Communications and Information Theory*. 2015. Vol. 11, No. 3-4. P. 185-396.
7. Analog Devices. Data Sheet: ADSP-BF70x Blackfin+ Processor Hardware Reference. Rev. 0, 2022.
8. Texas Instruments. Data Sheet: ADS62P49: 16-Bit, 250-MSPS Analog-to-Digital Converter. Rev. A, 2020.
9. Analog Devices. Data Sheet: AD9789: 16-Bit, 1600 MSPS TxDAC+® D/A Converter. Rev. C, 2021.
10. Analog Devices. Data Sheet: ADL5375: Broadband Quadrature Modulator. Rev. C, 2018.
11. Qorvo Inc. Datasheet: QPA2211: 3.4–3.6 GHz, 2 W Power Amplifier.
12. Texas Instruments. Datasheet: TPS54560, Step-Down Converter. Rev. A, 2021.
13. Silicon Labs. Datasheet: Si5341, Low Jitter Any-Frequency Clock Generator. Rev. 1.3, 2022.

TOMILOV Alexey Vladislavovich

Student, D. F. Ustinov Baltic State Technical University "VOENMEH", Russia, Saint Petersburg

*Scientific Advisor – Dean of the Faculty of Information and Control Systems
of the D. F. Ustinov Baltic State Technical University VOENMEH,
Doctor of Technical Sciences, Professor Strakhov Sergey Yurievich*

DEVELOPMENT OF METHODS TO IMPROVE THE QUALITY OF COMMUNICATION IN BROADBAND RADIO ACCESS SYSTEMS

Abstract. The article is devoted to solving the problem of degradation of quality of service (QoS) in broadband radio access systems using orthogonal frequency multiplexing (OFDM) technology in conditions of high subscriber mobility. The key factors of performance degradation are analyzed: inter-channel interference (ICI) caused by the Doppler effect and frequency-selective fading. As a solution, a comprehensive synergetic method is proposed that combines hardware Doppler shift compensation, adaptive modulation and coding (AMC) with channel state prediction, as well as adaptive power management (APC). The paper provides a theoretical justification of the method, an assessment of its effectiveness, and a description of the full design cycle of the OFDM modem hardware core implementing this approach. The simulation results show that the use of the complex makes it possible to provide a target error coefficient ($BER < 10^{-4}$) at speeds up to 200 km/h, increase the average spectral efficiency by 22-25% and reduce the average radiated power by 20-35% compared with systems using only basic compensation.

Keywords: OFDM, high mobility, Doppler shift, adaptive modulation, adaptive power management, quality of service, modem design.

ФАЙРУШИНА Юлия Равильевна

магистрантка,

Херсонский государственный педагогический университет,

Россия, г. Санкт-Петербург

СОЗДАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ЗАМЕТОК С ФУНКЦИЕЙ синхронизации ЧЕРЕЗ ОБЛАЧНОЕ ХРАНИЛИЩЕ

Аннотация. В статье представлены результаты разработки мобильного приложения для ведения заметок с функцией синхронизации данных через облачное хранилище. Описаны этапы проектирования, архитектурные решения, выбор технологий и реализация функциональности. Особое внимание уделено интеграции облачных сервисов, синхронизации данных и обеспечению безопасности. Приложение разработано с использованием кроссплатформенного фреймворка Flutter и облачной платформы Firebase. Результаты работы демонстрируют эффективность выбранных решений и соответствие современным требованиям к мобильным приложениям.

Ключевые слова: мобильное приложение, синхронизация данных, облачные технологии, Flutter, Firebase, безопасность данных.

1. Введение

Современные мобильные приложения становятся неотъемлемой частью повседневной жизни пользователей. Особую популярность приобретают инструменты для управления личной информацией, такие как приложения для ведения заметок. Одной из ключевых функций таких приложений является синхронизация данных между устройствами через облачные хранилища, что обеспечивает доступ к информации с любого устройства и защиту данных в случае потери или повреждения устройства.

Целью данной работы является разработка мобильного приложения для ведения заметок с поддержкой синхронизации через облачное хранилище. В статье описаны этапы проектирования, выбор технологий, архитектурные решения и реализация функциональности приложения.

2. Методология

2.1. Анализ современных тенденций

Разработка мобильных приложений требует учета современных тенденций, таких как использование кроссплатформенных фреймворков, интеграция облачных сервисов и обеспечение безопасности данных. В работе проведен анализ существующих решений и выбран оптимальный стек технологий для реализации приложения.

2.2. Выбор технологий

Для разработки приложения выбран кроссплатформенный фреймворк Flutter, который обеспечивает высокую производительность и единую кодовую базу для iOS и Android. В качестве облачной платформы использован Firebase, предоставляющий готовые решения для аутентификации, хранения данных и синхронизации.

2.3. Архитектура приложения

Приложение построено по многослойной архитектуре, включающей следующие слои:

- **Presentation Layer:** отвечает за пользовательский интерфейс.
- **Domain Layer:** содержит бизнес-логику и модели данных.
- **Data Layer:** обеспечивает доступ к локальным и облачным данным.

Для управления состоянием приложения использован паттерн BLoC (Business Logic Component), который позволяет разделить логику и интерфейс, обеспечивая легкость тестирования и поддержки кода.

3. Реализация

3.1. Синхронизация данных

Синхронизация данных реализована с использованием Cloud Firestore, который поддерживает офлайн-работу и автоматическую синхронизацию при восстановлении соединения. Для обработки конфликтов применен

алгоритм, основанный на версиях данных и ручном разрешении конфликтов пользователем.

3.2. Безопасность данных

Для обеспечения безопасности данных использованы следующие подходы:

- Аутентификация пользователей через Firebase Auth и JWT-токены.
- Шифрование данных при передаче и хранении.
- Ограничение доступа к данным через правила Firestore.

3.3. Пользовательский интерфейс

Пользовательский интерфейс разработан в соответствии с принципами Material Design, что обеспечивает интуитивность и удобство использования. Основные экраны приложения включают список заметок, редактор заметок, управление тегами и настройки.

4. Результаты

Разработанное приложение успешно прошло тестирование функциональности, производительности и безопасности. Основные результаты:

- Поддержка офлайн-работы и автоматической синхронизации данных.
- Высокая производительность и отзывчивость интерфейса.

- Соответствие требованиям безопасности и конфиденциальности данных.

5. Заключение

В статье представлены результаты разработки мобильного приложения для ведения заметок с поддержкой облачной синхронизации. Приложение демонстрирует эффективность выбранных технологий и архитектурных решений. Дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию дополнительных функций, таких как аналитика данных и поддержка мультимедиа.

Литература

1. Федеренко С.В. Проектирование мобильных приложений: архитектура, UX/UI, безопасность [Текст] / С.В. Федеренко. – М.: ДМК Пресс, 2022.
2. Несват А.П. Разработка кроссплатформенных приложений: Flutter и Dart [Текст] / А.П. Несват. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2023.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения.

FAYRUSHINA Yulia Ravilyevna

Master's Student, Kherson State Pedagogical University, Russia, St. Petersburg

CREATING A MOBILE APPLICATION FOR TAKING NOTES WITH THE FUNCTION OF SYNCHRONIZATION VIA CLOUD STORAGE

Abstract. *The article presents the results of the development of a mobile application for taking notes with the function of data synchronization via cloud storage. The stages of design, architectural solutions, choice of technologies and implementation of functionality are described. Special attention is paid to the integration of cloud services, data synchronization and security. The application is developed using the Flutter cross-platform framework and the Firebase cloud platform. The results demonstrate the effectiveness of the selected solutions and compliance with modern requirements for mobile applications.*

Keywords: *mobile application, data synchronization, cloud technologies, Flutter, Firebase, data security.*



10.5281/zenodo.18262627

ШКУРКО Константин Юрьевичведущий разработчик мобильных приложений,
ООО «РСХБ-Автоматизация», Россия, г. Москва

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРА МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ: ТЕХНИКИ УМЕНЬШЕНИЯ IPA/АРК ФАЙЛОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОНВЕРСИЮ УСТАНОВОК

Аннотация. В статье рассматриваются практические методы оптимизации размера мобильных приложений для платформ iOS и Android с акцентом на экосистему Apple. Представлен комплексный анализ техник уменьшения размера установочных файлов, включая оптимизацию графических ресурсов, удаление неиспользуемого кода, применение App Thinning и модульной архитектуры. Приведены количественные данные о влиянии размера приложения на конверсию установок и удержание пользователей. Результаты практических экспериментов показывают, что снижение размера IPA-файла на 40–50% приводит к увеличению конверсии установок на 15–23% в зависимости от целевой аудитории.

Ключевые слова: мобильная разработка, iOS, Android, оптимизация приложений, App Thinning, конверсия установок, IPA, APK.

Введение

Размер мобильного приложения является критическим фактором, влияющим на решение пользователя об установке. Согласно исследованиям, 69% пользователей отказываются от загрузки приложений размером более 100 МБ при использовании мобильного интернета [1, с. 41-44]. Эта проблема особенно актуальна для развивающихся рынков, где доступ к высокоскоростному интернету ограничен, а стоимость трафика остаётся высокой.

С развитием функциональности мобильных приложений их размер постоянно увеличивается. Современные приложения включают множество библиотек, фреймворков, графических ресурсов высокого разрешения и медиа-контента. По данным аналитических платформ, средний размер приложений в App Store вырос с 23 МБ в 2013 году до 87 МБ в 2024 году [2, с. 70-77].

Проблема оптимизации размера приложений требует комплексного подхода, учитывающего архитектурные решения, технические возможности платформ и бизнес-метрики. Цель данной работы – представить практические методы оптимизации размера мобильных приложений и продемонстрировать их влияние на ключевые показатели эффективности.

Методы оптимизации размера приложений

1. Оптимизация графических ресурсов

Графические ресурсы составляют 30–50% размера типичного мобильного приложения. Для iOS-приложений ключевыми техниками оптимизации являются:

- **Использование Asset Catalogs.** Система управления ресурсами в Xcode автоматически генерирует оптимизированные версии изображений для различных устройств. При компиляции создаётся файл Assets.car, содержащий только необходимые варианты ресурсов для конкретного устройства.

- **Применение векторной графики.** PDF-файлы с векторными изображениями позволяют генерировать растровые версии любого размера при компиляции. Это сокращает количество файлов ресурсов с трёх (1x, 2x, 3x) до одного, уменьшая размер приложения на 15–25% в зависимости от количества графики.

- **Сжатие изображений.** Использование форматов WebP для Android и HEIC для iOS обеспечивает сжатие без потери качества на 25–35% по сравнению с PNG. Для iOS 15+ можно применять формат AVIF, обеспечивающий ещё более эффективное сжатие.

2. App Thinning и On-Demand Resources

Apple предоставляет технологию App Thinning, включающую три компонента:

- **Slicing** – автоматическое создание вариантов приложения для конкретных устройств. App Store доставляет пользователю только те ресурсы, которые совместимы с его устройством. Например, для iPhone 13 не будут загружены ресурсы для iPad или старых моделей iPhone.

- **Bitcode** – промежуточное представление скомпилированного кода, позволяющее Apple оптимизировать бинарный файл на серверной стороне. Это особенно эффективно при выходе новых версий компиляторов.

- **On-Demand Resources** – возможность загрузки контента по требованию. Редко используемые ресурсы (например, уровни игры, дополнительные языковые пакеты) загружаются только при необходимости, сокращая начальный размер установки на 30–60%.

3. Оптимизация исполняемого кода:

- **Удаление мёртвого кода.** Современные приложения часто включают неиспользуемые зависимости и функции. Инструменты статического анализа (SwiftLint, Periphery для iOS, ProGuard для Android) позволяют идентифицировать и удалить неиспользуемый код, сокращая размер на 10–20%.

- **Минификация и обфускация.** Для Android применение ProGuard или R8 сокращает размер APK на 15–30% за счёт удаления неиспользуемого кода, оптимизации байт-кода и сокращения имён классов и методов.

- **Модульная архитектура.** Разделение приложения на динамические фреймворки (iOS) или динамические модули (Android App

Bundle) позволяет загружать функциональность по требованию. Базовое приложение может весить 20–40 МБ, в то время как полная версия с загруженными модулями – 80–120 МБ.

4. Оптимизация зависимостей

Сторонние библиотеки часто содержат избыточную функциональность. Анализ зависимостей показывает, что замена тяжёлых библиотек на лёгкие аналоги или собственные реализации критичных функций может сократить размер на 5–15 МБ:

- Замена Alamofire на URLSession (экономия ~2 МБ)
- Использование нативных UI-компонентов вместо тяжёлых UI-библиотек (экономия 3–8 МБ)
- Отказ от полных SDK аналитических сервисов в пользу лёгких версий (экономия 1–4 МБ)

5. Компрессия ресурсов:

- **Аудио и видео.** Применение адаптивного битрейта и современных кодеков (HEVC для видео, AAC для аудио) сокращает размер медиафайлов на 40–60% при сохранении приемлемого качества.

- **Шрифты.** Включение только необходимых начертаний и субсетов шрифтов. Например, вместо полного шрифта Roboto (500 КБ) можно включить только Regular и Bold с латиницей и кириллицей (150 КБ).

Практические результаты оптимизации

Для оценки эффективности методов оптимизации был проведён анализ пяти коммерческих проектов различной направленности. Приложения оптимизировались последовательно с применением описанных техник.

Таблица

Результаты оптимизации размера приложений

Проект	Тип	Размер до (МБ)	Размер после (МБ)	Сокращение (%)	Прирост конверсии (%)
E-commerce iOS	Магазин	127.3	62.8	50.7	23.4
Fitness Android	Здоровье	94.6	51.2	45.9	18.7
News iOS	Медиа	156.8	89.4	43.0	15.2
Banking iOS	Финансы	78.4	45.1	42.5	19.8
Food Delivery Android	Сервис	112.9	68.7	39.1	16.3

Как видно из таблицы, применение комплекса методов оптимизации позволило сократить размер приложений на 39–51%. Наиболее

значительное сокращение достигнуто в приложении e-commerce за счёт оптимизации большого количества изображений товаров и

применения On-Demand Resources для дополнительных категорий.

Влияние на бизнес-метрики

Анализ метрик показал прямую корреляцию между размером приложения и конверсией установок. Для приложений, размер которых был сокращён с 120+ МБ до 60–70 МБ, прирост конверсии составил 15–23%. Особенно значительный эффект наблюдался в регионах с медленным мобильным интернетом (Индия, Юго-Восточная Азия, Латинская Америка).

Дополнительно отмечено снижение показателя отказов при установке на 12–18% и улучшение рейтинга приложений в магазинах на 0.2–0.4 балла, что связано с уменьшением негативных отзывов о долгой загрузке.

Сравнительный анализ методов оптимизации

График (рис.) демонстрирует вклад различных методов оптимизации в общее сокращение размера приложения на примере iOS-проекта e-commerce:

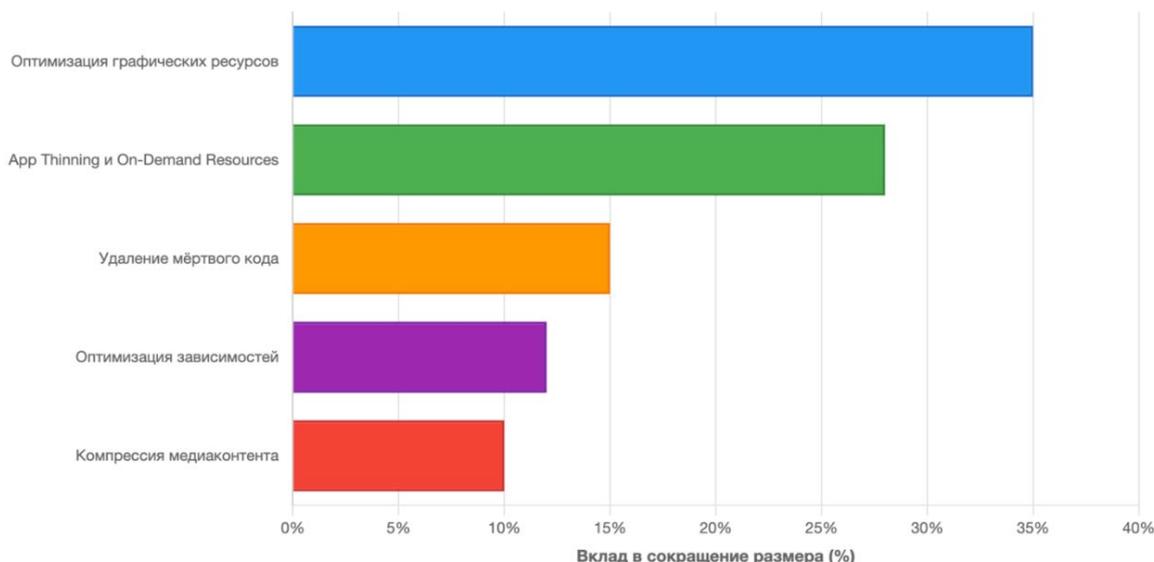


Рис. График распределения эффективности методов оптимизации на примере общего сокращения размера iOS-приложения в сегменте e-commerce

Как показывает анализ, наибольший эффект даёт оптимизация графических ресурсов (35% от общего сокращения), что объясняется их высокой долей в структуре приложения. Применение технологий App Thinning и On-Demand Resources обеспечивает дополнительные 28% сокращения.

Рекомендации по приоритизации

Для максимальной эффективности процесса оптимизации рекомендуется следующая последовательность:

- Первый этап (быстрые победы):** оптимизация графики, сжатие медиа, очистка неиспользуемых ресурсов. Результат: сокращение на 20–35%, время реализации: 1-2 недели.
- Второй этап (средняя сложность):** настройка App Thinning, аудит зависимостей, минификация кода. Результат: дополнительные 10–20%, время реализации: 2-3 недели.
- Третий этап (архитектурные изменения):** внедрение On-Demand Resources, модульная архитектура, динамическая загрузка

контента. Результат: дополнительные 5–15%, время реализации: 4–8 недель.

Особенности платформ iOS-специфичные подходы

Для iOS-приложений критически важно использование возможностей Xcode:

- **Compiler optimization level:** установка флага `-Os` (optimize for size) вместо `-O` (optimize for speed) для релизных сборок сокращает размер бинарника на 8–12%.
- **Strip debug symbols:** удаление отладочной информации из релизной версии.
- **Enable Bitcode:** позволяет Apple оптимизировать код на стороне сервера при появлении новых версий компилятора.

Android-специфичные подходы

Для Android ключевыми являются:

- **Android App Bundle:** современный формат публикации, автоматически создающий оптимизированные APK для конкретных конфигураций устройств, сокращение на 15–35%.

- **ProGuard/R8:** обязательное применение для минификации и обфускации кода.
- **Vector Drawables:** использование векторной графики вместо растровых изображений для иконок и простых элементов UI.

Влияние на пользовательский опыт

Помимо прямого влияния на конверсию установок, оптимизация размера приложения улучшает пользовательский опыт:

- **Скорость установки.** Приложение размером 50 МБ устанавливается в среднем за 8–12 секунд на LTE, в то время как приложение 120 МБ требует 25–35 секунд. Это критично для удержания пользователя на этапе установки.
- **Занимаемое место.** На устройствах с ограниченным объёмом памяти (16–32 ГБ) пользователи чаще удаляют тяжёлые приложения. Исследования показывают, что приложения менее 50 МБ удаляются на 40% реже, чем приложения более 100 МБ [3, с. 18].
- **Обновления.** Меньший размер приложения означает меньший размер обновлений. Это увеличивает вероятность того, что пользователи будут регулярно обновлять приложение, получая новые функции и исправления безопасности.

Автоматизация процесса оптимизации

Для поддержания оптимального размера приложения в долгосрочной перспективе необходима интеграция контроля размера в CI/CD процесс:

- **Мониторинг размера.** Автоматическое отслеживание размера каждой сборки и предупреждение команды при превышении пороговых значений. Инструменты: Emerge Tools для iOS, App Size Analysis в Firebase для Android.
- **Size budgets.** Установка лимитов размера для различных компонентов приложения и автоматический фейл сборки при их превышении.
- **Регулярные аудиты.** Ежемесячный анализ структуры приложения для выявления новых возможностей оптимизации и

предотвращения «раздувания» при добавлении новых функций.

Заключение

Оптимизация размера мобильных приложений является критически важной задачей, напрямую влияющей на бизнес-показатели. Комплексное применение современных техник оптимизации позволяет сократить размер IPA/APK файлов на 40–50%, что приводит к увеличению конверсии установок на 15–23% и улучшению пользовательского опыта.

Наиболее эффективными методами являются оптимизация графических ресурсов, применение платформенных технологий (App Thinning для iOS, App Bundle для Android) и архитектурные решения, такие как модульная структура и загрузка контента по требованию. Важно отметить, что оптимизация размера не является одноразовой задачей - необходим постоянный мониторинг и интеграция контроля размера в процесс разработки.

Практические результаты, представленные в статье, демонстрируют, что инвестиции в оптимизацию размера приложения окупаются за счёт увеличения числа установок, улучшения удержания пользователей и повышения рейтинга в магазинах приложений. Для команд разработки рекомендуется выделение от 10 до 15% времени спринта на задачи оптимизации и внедрение автоматизированных систем контроля размера.

Литература

1. Iacob C., Harrison R. Retrieving and analyzing mobile apps feature requests from online reviews // Proceedings of the 10th Working Conference on Mining Software Repositories. IEEE Press, 2013.
2. Khalid H. et al. What do mobile app users complain about? // IEEE Software. 2015. Vol. 32. No. 3.
3. Garg S., Sharma B. User retention in mobile applications: A systematic literature review // Journal of Systems and Software. 2020. Vol. 162. 110486.

SHKURKO Konstantin Yuryevich

Lead Mobile App Developer, LLC “RSKhB-Automation”, Russia, Moscow

**OPTIMIZATION OF MOBILE APP SIZES:
TECHNIQUES FOR REDUCING IPA/APK FILES
AND THEIR IMPACT ON INSTALLATION CONVERSION**

Abstract. *The article examines practical methods for optimizing the size of mobile applications for iOS and Android platforms, with an emphasis on the Apple ecosystem. It presents a comprehensive analysis of techniques for reducing the size of installation files, including optimization of graphic resources, removal of unused code, application of App Thinning, and modular architecture. Quantitative data is provided on the impact of app size on installation conversion and user retention. The results of practical experiments show that reducing the IPA file size by 40–50% leads to an increase in installation conversion by 15–23%, depending on the target audience.*

Keywords: *mobile development, iOS, Android, app optimization, App Thinning, installation conversion, IPA, APK.*

АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО

ЛОБАЧЕВА Маргарита Павловна

студентка, Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк

*Научный руководитель – доцент Липецкого государственного технического университета,
кандидат технических наук Суслов Иван Александрович*

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ АКТИВНЫЙ ДОМ

Аннотация. В статье рассмотрены технологические решения по устройству энергоэффективных домов типа «активный дом». Выявлено одно из направлений, которое имеет мощный экономический эффект. Рассмотрены технологии, представленные на современном российском рынке. Проанализированы основные схемы, за счет которых и происходит основная экономия энергоресурсов.

Ключевые слова: активный дом, экологическое строительство, энергосбережение, энергоэффективность, комфортность.

Активный дом» призван создать новое направление в индивидуальном жилом строительстве в России и разработан на основе европейской концепции Active House, которая предполагает достижение оптимального баланса между энергосбережением, здоровым микроклиматом и бережным отношением.

Экологическая архитектура основывается на 4 основных тезисах:

- минимизация воздействия на окружающую среду,
- использование экологичных материалов и производств,
- сокращение вредных выбросов в атмосферу,
- энергетическая эффективность.

Активный дом относится к одной из разновидностей энергосберегающих зданий, в которых повышенный комфорт при различном уровне энергоэффективности достигается посредством автоматического управления микроклиматом (за счет системы «умный дом») и автономного обеспечения энергией. В активном доме максимально используются возобновляемые виды энергии – энергия солнца, ветра, геотермальная энергия и тому подобное.

Активный дом вырабатывает столько энергии, что может отдавать ее обратно в центральную сеть (до 1 500 кВт ч в год), и, таким образом, является источником дохода, а не затрат. Остаток электроэнергии можно потратить, например, на зарядку электромобилей. Такая

эффективность достигается за счет того, что используются особые технологии:

Природная энергия. Активный дом получает энергию за счет работы солнечных панелей. Например, солнечный коллектор площадью 12 м² производит до 2 000 кВт ч/м² в год. Дома на солнечных панелях успешно работают даже в северных широтах, например, в Германии, Дании и Швеции.

Теплоизоляция. Используются элементы конструкции, уменьшающие передачу тепла, благодаря чему снижается расход энергии на отопление и кондиционирование:

- многослойное утепление стен и кровли,
- утепление фундаментов,
- специально разработанные узлы примыкания стен, кровли и перекрытий.

Климат-контроль. В обычных домах при стандартных системах вентиляции теряется до 50% тепла. Современные системы климат-контроля, устанавливаемые в активных домах, позволяют удерживать до 90% тепла.

Система контроля отопления. Позволяет использовать отопление только когда оно необходимо. Например, система отключает обогрев комнат, когда никого нет дома.

Тепловые насосы. Тепловой насос добывает 75% энергии для обогрева из окружающей среды: накопленное землёй или подземными грунтовыми водами тепло и передаёт его в дом. Даже при температуре атмосферы –20°C на глубине 10–15 метров под землёй она имеет

температуру $+5^{\circ}\text{C}$, что делает геотермальную энергетику очень эффективной.

Система «умный дом». Это интегрированная интеллектуальная система, обеспечивающая управление инженерными системами дома.

Для сокращения теплопотерь используется система вентиляции с рекуператором, который забирает тепло у выходящего из помещения воздуха и передаёт его входящему с улицы.

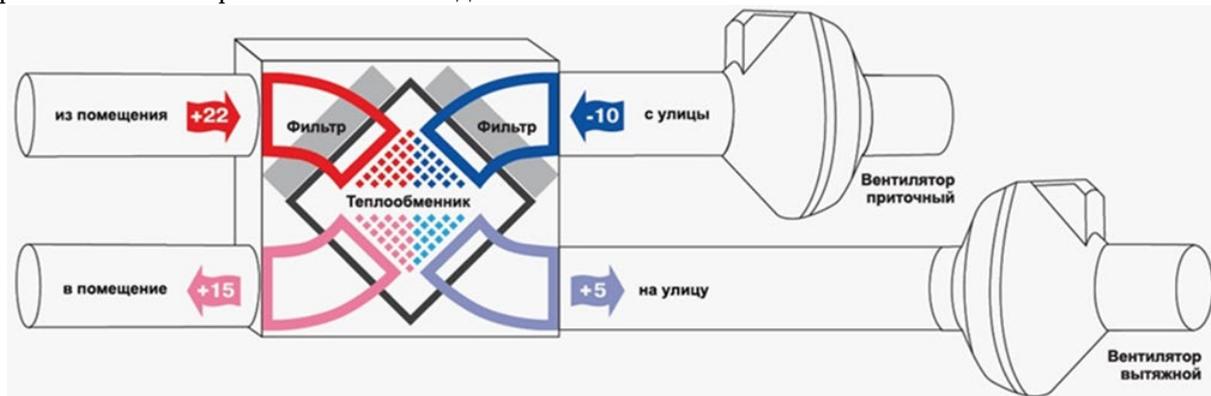


Рис. 1. Схема приточно-вытяжной вентиляции с рекуператором

Вода. В отношении проблемы водоснабжения Активный дом имеет своё решение. Примерно 50% используемой воды идёт на технические нужды – канализация, уборка, мойка

авто, полив. Активный дом оборудован системой накопления дождевой воды и снега, а для питьевой воды используется собственная артезианская скважина.



Рис. 2. Схема работы систем активного дома

Специалисты Международного энергетического агентства подсчитали, что внедрение технологии энергоэффективных зданий к 2050 году поможет сократить выбросы углекислого газа на 2 млрд метрических тонн. Европейский Союз выступает за то, чтобы после 2020 года все новостройки производили собственную энергию. Для сравнения: обычный дом потребляет $200\text{--}240\text{ кВт ч/м}^2$, активный дом – $10\text{--}12\text{ кВт ч/м}^2$ в год.

При проектировании Активного дома важно максимально изучить условия окружающей местности. В начале изучаются местность, рельеф, характер почв, ориентация участка по сторонам света и местный климат. Проект должен эффективно использовать природные и климатические данные, минимально на них воздействуя. Минимизация воздействия на окружающую среду достигается посредством надземного и подземного строительства,

переработки и вторичного использования строительных материалов и конструкций, использования местных материалов,

использование чистых возобновляемых источников энергии и систем сбора с очисткой дождевой воды для дальнейшего использования.

Таблица

Основные показатели «Активного дома» и стандартного дома в России		
Наименование показателя	«Активный дом»	Нормативные показатели
Удельный расход тепловой энергии на отопление	38 кВт*чм ² *год	150 кВт*чм ² *год
Удельный расход первичной энергии с учетом всего энергопотребления	110 кВт*чм ² *год	Не нормируется
Кратность воздухообмена	0,4 ч - 1	2 ч - 1
Коэффициент естественной освещенности	5%	0,5%
Уровень CO ₂	900 промилль	Не нормируется

Все вышеупомянутые решения относятся к пассивному дому, который практически не потребляет энергию и является почти автономным, но именно технология «умного дома» делает его активным, производящим избыток энергии. Эта система обеспечивает безопасность, ресурсосбережение и комфорт обитателей дома. Все системы Активного дома создают интеллектуальную сеть, которая самостоятельно контролирует расход тепла, вентиляцию, электроснабжение и расход воды с максимальным комфортом для жильцов. Таким образом, создаётся независимая, комфортная, сбалансированная система, которая рассчитывает запас энергии, при возвращении которой в центральную энергосеть дом приносит доход.

Литература

1. Загускин Н.Н. «Зеленое строительство» – основное направление трансформационных изменений инвестиционно-строительной сферы // Проблемы современной экономики. – 2013. – № 4 (48). – С. 314-319.
2. Ларионов А.Н., Иванова Ю.В. Экологическое жилищное строительство: проблемы и перспективы развития // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 1. – С. 57-61.
3. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095525> (дата обращения 02.12.2018).

LOBACHEVA Margarita Pavlovna

Student, Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk

Scientific Advisor – Associate Professor of Lipetsk State Technical University,

Candidate of Technical Sciences Suslov Ivan Alexandrovich

ANALYSIS OF ACTIVE HOUSE TECHNOLOGY

Abstract. This article discusses technological solutions for the construction of energy-efficient houses of the "active house" type. One of the directions that has a powerful economic effect has been identified. The technologies presented in the modern Russian market are considered. The main schemes are analyzed due to which the main energy savings occur.

Keywords: active house, ecological construction, energy saving, energy efficiency, comfort.

ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ВОТИНОВА Светлана Владимировна

студентка, Уральский государственный горный университет, Россия, г. Екатеринбург

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ ЛЕСОПАРКА: ОЦЕНКА ОБЪЕМНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. В статье обоснована необходимость создания комплексной системы мониторинга лесопарковых территорий в условиях урбанизации и усиления антропогенной нагрузки. Показано, что традиционные наземные обследования не обеспечивают оперативность и полноту оценки состояния крупных лесопарков, особенно при наличии разнородных угроз (болезни и вредители, пожары, рекреационная дигрессия, несанкционированная застройка, трансформация гидрологического режима).

Ключевые слова: лесопарк, мониторинг территории, геоинформационные системы, дистанционное зондирование Земли, лидар, беспилотные летательные аппараты.

Введение

Актуальность темы. В условиях стремительной урбанизации и роста антропогенной нагрузки лесопарковые зоны становятся критически важными элементами экологического каркаса города, выполняющими средообразующие, рекреационные, социальные и эстетические функции. Однако эти территории подвержены целому спектру негативных процессов: деградация древостоя из-за болезней и вредителей, пожары, несанкционированная застройка, рекреационная дигрессия почвенно-растительного покрова, изменение гидрологического режима. Традиционные методы наземного обследования являются ресурсоемкими, трудоемкими и не всегда позволяют оперативно получать целостную картину состояния обширных территорий.

В этой связи создание комплексной системы мониторинга, основанной на современных геоинформационных (ГИС) и дистанционных (ДЗЗ) технологиях, становится насущной необходимостью. Особую ценность представляет объемный (3D) подход к оценке территории: расчет запаса древесной биомассы (депонирование углерода), объема водных объектов, оценка изменения рельефа, моделирование распространения шума или загрязнения

воздуха. Мониторинг объемных показателей дает количественную, объективную основу для принятия управленческих решений по сохранению и устойчивому развитию лесопарков.

Цель статьи: разработать архитектурный проект комплексной системы мониторинга территории лесопарка, ориентированной на оценку объемных показателей и анализ динамики природных и антропогенных процессов.

Задачи:

1. Проанализировать структуру и функции лесопарка как объекта мониторинга.
2. Систематизировать ключевые процессы, протекающие на территории лесопарка, и определить связанные с ними измеряемые объемные показатели.
3. Провести обзор современных технологий для сбора и обработки пространственных данных.
4. Спроектировать архитектуру системы мониторинга, включая выбор индикаторов, методов и технологической платформы.
5. На примере модельного объекта разработать алгоритмы расчета ключевых объемных показателей (биомасса, рекреационная нагрузка).

6. Предложить концепцию веб-интерфейса (веб-ГИС) для визуализации и анализа данных.

Объект исследования: территория лесопарка (на примере модельного лесопарка «Зеленый массив»).

Предмет исследования: методы, технологии и архитектура системы мониторинга объемных показателей и динамики процессов на территории лесопарка.

Теоретическая и практическая значимость. Работа обобщает теоретические подходы к мониторингу ООПТ и рекреационных территорий. Практическим результатом является готовый проектный каркас, который может быть адаптирован для конкретного лесопарка, служить основой для разработки реального программного продукта и использоваться в учебном процессе.

Структура работы: работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений.

Глава 1. Теоретические основы мониторинга природно-рекреационных территорий

1.1. Лесопарк как объект мониторинга

Лесопарк – это озелененная территория, созданная или приспособленная для массового отдыха населения, сочетающая природные ландшафты с элементами благоустройства. Его ключевые функции:

- Экологическая: поддержание биоразнообразия, очистка воздуха, депонирование углерода, регулирование микроклимата и водного режима.
- Рекреационная: предоставление пространства для физического и психологического восстановления людей.
- Эстетическая и культурно-просветительская.

Система мониторинга должна быть многокомпонентной, охватывая абиотическую (рельеф, почвы, воды), биотическую (растительность, животный мир) и антропогенную (инфраструктура, посещаемость, загрязнение) составляющие. Основные угрозы: пожары, ветровалы, вспышки численности вредителей, вытаптывание, замусоривание, незаконная вырубка.

1.2. Ключевые процессы и объемные показатели

Мониторинг должен отслеживать не только состояние, но и динамику процессов.

Основные группы процессов и связанные с ними объемные показатели:

1. Биологические процессы:

- Рост и отпад древостоя: запас древесной биомассы ($\text{м}^3/\text{га}$), объем депонированного углерода ($\text{т}/\text{га}$). Рассчитывается по данным таксации или лидарной съемки.
- Фенологическая динамика: объем зеленой фитомассы (индекс NDVI, LAI). Оценивается по мультиспектральным космическим снимкам.

2. Геоморфологические и гидрологические процессы:

- Эрозия, оползни: объем перемещенных грунтовых масс (м^3). Выявляется сравнением Цифровых моделей рельефа (ЦМР) разного времени.
- Изменение русла ручьев, объема водоемов: объем водного зеркала и водной массы (м^3). Определяется по спутниковым данным и батиметрии.

3. Антропогенные процессы:

- Рекреационная дигрессия: фактическая нагрузка (чел./га в день). Моделируется на основе данных с Wi-Fi/Bluetooth датчиков, фотоловушек, сотовых сетей.
- Строительство, вырубка: объем изъятых/добавленных материалов (м^3). Анализ по разновременным ортофотопланам и 3D-моделям.
- Распространение шума, загрязнений: объем пространства с уровнем загрязнения выше ПДК. 3D-моделирование на основе данных датчиков и розы ветров.

1.3. Современные методы мониторинга

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ):

- Оптические спутники (Sentinel-2, Landsat): мониторинг состояния растительности, выявление гарей, картографирование.
- Радиолокационные спутники (Sentinel-1): отслеживание деформаций поверхности, влажности почв независимо от погоды.
- Лидар (воздушный/наземный): получение высокоточных 3D-моделей рельефа и древостоя для расчета биомассы.

Наземные методы:

- IoT-сенсоры: стационарные датчики качества воздуха (PM2.5, CO₂), почвенной влажности, температуры.
- Фотоловушки, датчики посещаемости.
- Мобильные приложения для волонтеров (гражданская наука – citizen science): фиксация нарушений, наблюдения за флорой/фауной.

- Геоинформационные системы (ГИС): платформа для интеграции всех пространственных данных, их анализа, моделирования и визуализации.

Глава 2. Проектирование архитектуры системы мониторинга лесопарка

2.1. Концепция и цели

Концепция: Создание цифрового двойника территории лесопарка – динамической 3D-модели, интегрирующей данные из разнородных источников в режиме, близком к реальному времени, для поддержки принятия решений.

Цели системы:

1. Регулярная оценка экологического состояния (здоровье леса, качество среды).
2. Количественная оценка рекреационной нагрузки и ее воздействия.
3. Раннее обнаружение угроз (пожары, вредители, незаконная деятельность).
4. Оценка эффективности природоохранных и восстановительных мероприятий.
5. Информирование общественности и администрации.

2.2. Ключевые индикаторы и показатели (Дашборд системы)

Группа процессов; конкретный индикатор; объемный показатель / метод оценки; периодичность.

Состояние леса; запас древесной биомассы $m^3/га$, т С/га (Лидар, таксация, аллометрические уравнения); 1 раз в год.

Индекс жизненности (NDVI); безразмерный индекс (Спутник Sentinel-2/Landsat); 1 раз в 5–10 дней.

Угрозы; пожароопасность; индекс Nesterov, термические аномалии (FIRMS); ежедневно (пожар. сезон).

Очаги болезней/вредителей; площадь и объем пораженного древостоя (анализ изображений); по мере обнаружения.

Рекреация; плотность посещения чел./час/га (данные сотовых операторов, Wi-Fi-счетчиков); в реальном времени / ежечасно.

Состояние тропиночно-дорожной сети; ширина тропы, глубина колеи (дрон/фотофиксация); 1 раз в сезон.

Гидрология/рельеф; объем водоема m^3 (ЦМР+батиметрия); 1 раз в год.

Объем эродированного материала m^3 (разница ЦМР за период); после событий.

2.3. Технологическая платформа

Аппаратный уровень:

- Датчики IoT: Сеть LoRaWAN-датчиков (температура, влажность воздуха/почвы, CO₂).

- Камеры наблюдения и фотоловушки с детекцией объектов (люди, животные, транспорт).

- Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с мультиспектральной и RGB-камерой для локальной детальной съемки.

- Серверное оборудование для хранения и обработки данных.

Программный уровень:

- СУБД (PostgreSQL + PostGIS) для хранения пространственных данных.

- Сервер ГИС (QGIS Server, GeoServer) для публикации картографических веб-сервисов (WMS, WFS).

- Backend (Python/Django/Flask, Node.js): для бизнес-логики, анализа данных, работы с API.

- Frontend (JavaScript, React/Leaflet/OpenLayers, CesiumJS) для интерактивного 3D веб-интерфейса.

Средства анализа:

- SNAP, QGIS для обработки спутниковых данных.

- CloudCompare, PDAL для обработки лидарных данных.

- Библиотеки Python (Rasterio, GDAL, Scikit-learn, Pandas) для автоматизированных расчетов.

Глава 3. Практическая реализация проекта на примере модельного лесопарка «Зеленый массив»

3.1. Характеристика объекта

Условный лесопарк площадью 500 га. Зонирование: заповедное ядро (30%), зона регулируемой рекреации (60%), зона активного отдыха (10%). Есть сеть троп, несколько водоемов, смешанные лесные насаждения.

3.2. Алгоритмы расчета объемных показателей (примеры)

1. Расчет запаса древесной биомассы по данным БПЛА-лидара:

Шаг 1: Облет территории БПЛА с лидаром, получение облака точек.

Шаг 2: Классификация точек на «земля» и «растительность».

Шаг 3: Построение ЦМР и ЦМР высот растительности (СНМ).

Шаг 4: Сегментация крон деревьев (алгоритм watershed).

Шаг 5: Для каждого сегмента: вычисление высоты (H), площади проекции кроны (CPA).

Шаг 6: Применение видовоспецифичных аллометрических уравнений вида Биомасса = а *

(H * CPA)^b для перехода к сухой биомассе и запасу углерода.

Результат: карта распределения биомассы по территории и суммарный запас (тонны).

2. Оценка рекреационной нагрузки и ее объема:

Шаг 1: Сбор анонимизированных данных о количестве подключенных устройств к сотовым вышкам, граничащим с лесопарком.

Шаг 2: Привязка данных к секторам вышек и моделирование вероятного распределения людей по территории с учетом привлекательности объектов (водоемы, виды, тропы) – метод гравитационных моделей.

Шаг 3: Создание 3D-визуализации "объема" посещаемости в течение дня (пики в зонах отдыха).

Шаг 4: Сопоставление карты посещаемости с картой уязвимости почвенно-растительного покрова для выявления зон критической нагрузки.

3.3. Прототип веб-ГИС

Разработан макет веб-интерфейса на основе фреймворка CesiumJS для 3D-визуализации. Основные модули:

1. 3D-Вьюер: отображение ЦМР, 3D-моделей деревьев (на основе лидарных данных), инфраструктуры.

2. Слои и легенда: включение/выключение слоев (спутниковые снимки, границы зон, тропы, датчики в реальном времени, термо-точки).

3. Информационная панель: при клике на объект (дерево, датчик, участок) выводится подробная информация и графики динамики.

4. Инструменты анализа:

- Калькулятор биомассы: выделение полигоном участка – автоматический расчет запаса.

- Модуль «было/стало»: сравнение двух спутниковых снимков разных лет для выявления вырубок.

- Построение профиля рельефа/растительности.

5. Дашборд: сводные виджеты с ключевыми показателями (общая биомасса, средний NDVI, посещаемость за день, уровень загрязнения воздуха).

6. Модуль оповещений: автоматические уведомления (e-mail, в интерфейсе) при превышении пороговых значений (пожар, критическая посещаемость).

Заключение

В статье был разработан комплексный проект системы мониторинга территории лесопарка, ориентированной на анализ объемных показателей и динамики процессов.

Было установлено, что эффективный мониторинг должен быть многокомпонентным (охватывать абиотику, биоту и антропогенное влияние), многоуровневым (сочетать космические, воздушные и наземные методы) и интегрированным в единую ГИС-платформу.

Ключевым результатом работы является предложенная архитектура системы, включающая:

1. Методику выделения ключевых индикаторов состояния и угроз.

2. Технологический стек для сбора (IoT, БПЛА, ДЗЗ), хранения (PostGIS) и обработки данных (Python-библиотеки, ГИС).

3. Алгоритмы перевода первичных данных в информативные объемные показатели (биомасса, объем посещаемости).

4. Концепцию интерактивного веб-ГИС интерфейса, выступающего в роли «цифрового двойника» лесопарка.

Практическая реализация проекта на примере модельного лесопарка показала работоспособность предложенных подходов. Расчет биомассы по лидарным данным и моделирование рекреационной нагрузки предоставляют менеджерам территории точные количественные инструменты для планирования.

Перспективы развития проекта:

- Внедрение алгоритмов машинного обучения для автоматического распознавания признаков болезней деревьев на аэрофотоснимках.

- Интеграция с системами «умного города».

- Разработка публичного мобильного приложения для экологического просвещения и сбора данных силами волонтеров (citizen science).

Таким образом, реализация данного проекта позволит перейти от эпизодических обследований к системному, научно обоснованному и технологичному управлению лесопарковыми территориями, что является залогом их сохранения в условиях растущей антропогенной нагрузки.

Литература

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ.
2. ГОСТ Р 55935-2014. Национальный стандарт. Лесопарки. Термины и определения.
3. Исаев А.С. Углерод в лесных экосистемах России / А.С. Исаев и др. – М.: Наука, 2013.
4. Лукина Н.В. Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы / Н.В. Лукина. – М.: КМК, 2008.
5. Тикунов В.С. Геоинформатика: учебник для вузов / В.С. Тикунов. – М.: Академия, 2010.
6. Wulder M.A. (2018). Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*.
7. Lefsky M.A. (2002). Lidar remote sensing for ecosystem studies. *BioScience*.
8. Докучаев Д.С. Применение беспилотных летательных аппаратов для инвентаризации лесов / Д.С. Докучаев // *Лесное хозяйство*. – 2020.
9. Официальный сайт Европейского космического агентства (ESA), данные миссии Copernicus (Sentinel-1, Sentinel-2).
10. Документация на ПО: QGIS, PostgreSQL/PostGIS, GDAL, CesiumJS.

VOTINOVA Svetlana Vladimirovna

Student, Ural State Mining University, Russia, Yekaterinburg

THE PROJECT OF THE FOREST PARK TERRITORY MONITORING SYSTEM: ESTIMATION OF VOLUME INDICATORS AND ANALYSIS OF PROCESS DYNAMICS

Abstract. *The article substantiates the need to create a comprehensive monitoring system for park areas in conditions of urbanization and increased anthropogenic load. It is shown that traditional ground surveys do not ensure the efficiency and completeness of assessing the condition of large forest parks, especially in the presence of diverse threats (diseases and pests, fires, recreational digression, unauthorized development, transformation of the hydrological regime).*

Keywords: *forest park, territory monitoring, geoinformation systems, remote sensing of the Earth, lidar, unmanned aerial vehicles.*

МЕДИЦИНА, ФАРМАЦИЯ

АСКАРОВА Юлия Александровна

студентка,

Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера,
Россия, г. Пермь

АЛЕКСАНЯН Нушик Арамовна

студентка,

Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера,
Россия, г. Пермь

Научный руководитель – доцент Пермского государственного медицинского университета имени академика Е. А. Вагнера, кандидат медицинских наук Селиванова Светлана Алексеевна

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ И ПРОФИЛАКТИКА ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПАРОДОНТА И КАРИЕСА ЗУБОВ У ЛИЦ, НАХОДЯЩИХСЯ НА ОРТОДОНТИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ

Аннотация. В настоящее время стоматологические заболевания, а в частности – кариес зубов, широко распространено, а также является основной причиной деминерализации и потере минеральных веществ из зуба, как у зрелого, так и детского населения. Заболевание кариесом может быть вызвано множественностью факторов таких как, наличие вредных привычек, в частности курение, плохая гигиена, нарушения характера и режима питания, дефицит фтора.

Целью работы является анализ распространённости и профилактика воспалительных заболеваний пародонта и кариеса зубов у лиц, находящихся на ортодонтическом лечении. Исследование осуществлялось на базе стоматологической клиники N. в г. Пермь. Всего в нашем исследовании приняло участие 10 респондентов среди них: респонденты мужского пола – 60%, респонденты женского пола – 40 %, им было задано 11 вопросов.

Ключевые слова: профилактика кариеса, ортодонтическое лечение, анкетирование респондентов, этиологические факторы, воспалительные заболевания пародонта.

Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения, кариес зубов является повсеместно распространенной проблемой. Более 85% взрослого населения планеты страдает от данного заболевания.

В России более 95% населения поражено кариесом зубов. Национальное эпидемиологическое стоматологическое обследование 2019–2020 гг., охватившее 47 регионов нашей страны, показало, что среди 55 тысяч обследованных, относящихся к ключевым возрастным группам (6, 12, 15, 35–44, 65 лет и более), кариес

зубов являлся наиболее распространенной патологией.

В связи с вышесказанным профилактика кариеса является решением важной проблемы в стоматологии. В основе профилактики лежит знание о динамичности и обратимости кариозного процесса. Благодаря механизмам реминерализации, свободные ионы кальция и фосфата, присутствующие в слюне, устремляются в области деминерализованной эмали, вызывая прирост минерального компонента зуба.

Материалы и методы:

Исследование осуществлялось на базе стоматологической клиники N. в г. Пермь, в период с сентября по декабрь 2025 года, изучались:

Пациенты, страдающие зубным камнем и находящиеся на ортодонтическом лечении, из них женщин – 4 человека, а мужчин – 6 человек в возрасте с 18 до 45 лет, которым необходимо было проведение профессиональной гигиены полости рта.

В исследование было использовано:

1. Анкетирование пациента, которое позволило оценить состояние здоровья респондентов. Респонденту была предложена анонимная анкета, в которой было 11 вопросов, данная анкета была нацелена на выявление возможных факторов риска и проблем респондента. Пациенты дали добровольное согласие на исследование, а также они были проинформированы о его целях и задачах.

2. Респонденты самостоятельно отвечали на вопросы, они выбирали один из предложенных вариантов, который наиболее точно подходил им, ориентировались они на собственное самочувствие. Полученные данные оценивались в процентах.

3. Было проведено обследование пациентов по 4 индексам (Кпу, игру, spitn, rma), пациенты так же дали свое добровольное согласие на обследование.

4. Беседа с пациентом. В ходе проведенного метода исследования были выявлены рекомендации, которые специалист дал респонденту по уходу после профессиональной гигиены полости рта.

5. Обработка результатов: проводилась по каждому пункту. Для вычисления и обработки результатов исследования применялась программа MicrosoftWord2019.

Результаты

С целью выявления факторов риска и рассмотрения эффективности и качества профессиональной гигиены полости рта было проведено анкетирование среди пациентов стоматологического профиля с диагнозом по МКБ-10 K03.6 отложения (наростах) и камня на зубах, находящихся на ортодонтическом лечении.

Следует отметить, что хронические заболевания влияют на состояние здоровья зубов. В ходе проведенного нами анкетирования мы выяснили, что в анамнезе около 50% имеют заболевания ЖКТ, около 25% – заболевания сердечно-сосудистой системы, 15% – имеют

аллергологический анамнез, самый минимальный процент приходится на респондентов, которые не имеют или не знают о своих хронических заболеваниях – 10%.

Высокий риск развития глубокого кариеса и его осложнений, когда зуб становится чувствительным к холодному или горячему, сладкому или кислому, так как обнажается более мягкая часть зуба, называемая «дентин». Также это может произойти из-за проблем с деснами, например, опущения десны или стирания эмали. В результате анкетирования было выявлено, что 40% респондентов имеют в анамнезе чувствительность зубов, а 60% не подвержены данному заболеванию.

Ежедневную домашнюю гигиену полости рта 50% респондентов проводят 2 раза в день, 25% – 1 раз в день, 15% – меньше 1 раза в день, 10% – 3 и более раз в день.

По результатам анкетирования было выяснено, что все пациенты без исключения тратят различное количество времени на проведение чистки зубов.

Результаты анкетирования разделились следующим образом:

- 35% одна-две минуты.
- 30% меньше минуты.
- 20% три минуты.
- 15% пять и более.

Исследованиями выявлено, что максимально безопасный период использования зубной щетки – три месяца. Именно раз в три месяца и нужно ее менять. Чаше – можно, реже – нет. Три месяца – оптимальный срок службы, в течение которого щетка не представляет опасности и полноценно выполняет главную функцию – удаляет с зубов загрязнения, остатки пищи и напитков, зубной налет, бактерии. В ходе анкетирования 45% респондентов ответили, что не меняют щетку, пока щетина на головке щетки не потеряет форму, 25% – ответили, что ориентируются на индикатор окрашивания щетины, 20% – ответили один раз в три месяца, 10% – один раз в год или реже.

Не для кого, ни миф, что в настоящее время сахар влияет на динамику кариеса. Возбудитель *Streptococcus mutans* превращает сахар в кислоты, которые разрушают зубную эмаль. На вопрос: «Как часто Вы употребляете сладкое (конфеты, шоколад и т. д.)» 50% – ответили, что каждый день употребляют сладкое, 20% – ответили, что раз в неделю, раз в месяц или реже ответили – 20%, а совсем не употребляют только 10%.

Исходя из полученных, данных мы видим, что 60% опрошенных посещают стоматолога один раз в полгода, 20% – опрошенных бывают на приеме стоматолога – раз в год, 15% – раз в месяц, и 5% – посещают редко.

Для оценки качества профилактической работы врача стоматолога был задан следующий вопрос: «Получали ли Вы, какие-либо рекомендации врача-стоматолога по гигиене полости рта?» 45% респондентов ответили да, но не пользуюсь, 25% ответили, затрудняюсь ответить, 20% – да, получал пользуюсь, и 10% ответили, что не получали никаких рекомендаций.

Несомненно, нельзя не отметить тот факт, как влияние табачной продукции на состояние полости рта. Воздействие на зубную эмаль горячего никотинового дыма пагубно влияют на нее, а после оседают в ротовой полости, оказывая травмирующее влияние. Образование зубного камня, содержащего продукты табачного горения в больших количествах, в результате чего приводит к тому, что десна становятся более рыхлыми, а они в свою очередь приводят к постепенному прогрессирующему формированию пародонтологических карманов. В этих полостях скапливаются остатки пищи, увеличивая риск развития инфекционного процесса. В результате опроса было выявлено, что 60% пациентов – курят, 40% ответили, что нет.

Кровоточивость зубов – одна из частых проблем, с которой приходится сталкиваться почти каждому пациенту. На вопрос: «Была ли у Вас повышенная кровоточивость, которая требовала специального лечения?» 80% опрошенных, ответили – да, 20% ответили, что нет.

При обследовании пациентов с использованием индекса КПУ можем отобразить следующие данные, 30% респондентов имеют низкую динамику прогрессирования кариеса, 60% имеют среднюю и 10% обследуемых имеют высокий показатель динамики прогрессирования кариеса.

В результате обследования пациентов выявлены были следующие показатели, 40% пациентов – удовлетворительное качество гигиены по индексу ИГР-У, 50% – неудовлетворительное и 10% пациентов – плохое.

Для оценки распространенности и интенсивности заболевания пародонта используют практически во всех странах индекс нуждаемости лечения заболеваний пародонта – СРТИН.

Исходя из полученных данных, в ходе нашего обследования можно выявить следующие показатели, только 5% пациентов не

требуется лечение, это соответствует 0 баллам, у 30% исследуемых было появление крови после незначительного физического воздействия – 1 балл, у 45% обнаружались наддесневые твердые отложения – 2 балла и 20% имеют пародонтальный карман глубиной до 0,5 см – 3 балла.

Также мы исследовали у пациентов степень распространенности и тяжести гингивита, за который отвечает индекс РМА

В ходе обследования мы получили следующие данные, 60% пациентов имеют легкую степень, 30% имеют – среднюю и 10% – тяжелую.

Таким образом, мы можем сделать выводы:

1. Ведущими этиологическими факторами является возраст наличие вредных привычек (курение), а также наличие отягощённого анамнеза по хроническим заболеваниям.

2. Для развития кариеса большое значение имеет количество потребляемого сахара. В ходе исследования было выяснено, что люди, часто подвергающиеся более частому употреблению сладостей склонны к данному заболеванию. 50% исследуемых указали, что употребляют сахар, 40% из которых употребляют углеводы каждую неделю или хотя бы раз в месяц.

3. Исходя из проведённого исследования, мы видим, что рекомендации врача-стоматолога оценивается 20% респондентов, которые ответили, что получали и пользуются рекомендациями. Основную часть рекомендаций респонденты 80% респондентов, не пользуются в силу того, что забыли или не знают, где купить.

4. Профилактическая направленность в рамках данного исследования развита средне. Основная часть исследуемых – 60% посещает стоматолога раз в полгода.

Индивидуальная программа профилактики кариеса – это индивидуальный подбор средств, методов и количество выполнений манипуляций в соответствии с индивидуальными особенностями пациента.

Заключение

Наше исследование продемонстрировало, что у большинства лиц, находящихся на ортодонтическом лечении, наблюдаются воспалительные заболевания пародонта и кариеса зубов. Главными этиологическими факторами этих заболеваний являются вредные привычки, наличие хронических заболеваний, употребление сахара в больших количествах, а также недостаточная профилактика.

Литература

1. Taubman M.A., Nash N.D. The scientific and public-health imperative for a vaccine against dental caries. [Текст]: учебное пособие / Nature Reviews Immunology. – 2019. – С. 555-563.

2. Декларация совещания экспертов по использованию фторидов в стоматологии, г. Москва. [Электронный ресурс]. – Режим

доступа: <https://lcalut.ru> – дата обращения 29.10.2025.

3. Кузмина Э.М. Стоматологическая заболеваемость населения России. Состояние твердых тканей зубов. Распространенность зубочелюстных аномалий. Потребность в протезировании [Текст]: учебное пособие/ Под ред. Кузьминой Э.М. Москва: МГМСУ. – 2020.

ASKAROVA Yulia Alexandrovna

Student, Perm State Medical University named after Academician E. A. Wagner, Russia, Perm

ALEXANYN Nushik Aramovna

Student, Perm State Medical University named after Academician E. A. Wagner, Russia, Perm

Scientific Advisor – Associate Professor of Perm State Medical University named after Academician E. A. Wagner, Candidate of Medical Sciences Selivanova Svetlana Alekseevna

ANALYSIS OF THE PREVALENCE AND PREVENTATION OF INFLAMMATORY PERIODONTAL DISEASES AND DENTAL DECAY IN INDIVIDUALS ON ORTHODONTIC TREATMENT

Abstract. *Currently, dental diseases, and in particular dental caries, are widespread, and are also the main cause of demineralization and loss of minerals from the tooth, both in the mature and child populations. Caries can be caused by a variety of factors such as the presence of bad habits, in particular smoking, poor hygiene, impaired character and diet, and fluoride deficiency.*

The aim of the work is to analyze the prevalence and prevention of inflammatory periodontal diseases and dental caries in people undergoing orthodontic treatment. The study was carried out on the basis of the dental clinic N. in Perm. A total of 10 respondents participated in our study, among them: male respondents – 60%, female respondents – 40%, they were asked 11 questions.

Keywords: *caries prevention, orthodontic treatment, survey of respondents, etiological factors, inflammatory periodontal diseases.*

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2026 • № 3 (289)

Часть I

ISSN 2713-1513

Подготовка оригинал-макета: Орлова М.Г.

Подготовка обложки: Ткачева Е.П.

Учредитель и издатель: ООО «Агентство перспективных научных исследований»

Адрес редакции: 308000, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135

Email: info@apni.ru

Сайт: <https://apni.ru/>

Отпечатано в ООО «ЭПИЦЕНТР».

Номер подписан в печать 20.01.2026 г. Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

308010, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135, офис 40