

2026

**80-Я РЕГИОНАЛЬНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

СТУДЕНЧЕСКАЯ ВЕСНА

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК



VESNA.SUT.RU

СПбГУТ)))

УДК 001:061.3(082)

ББК 72

С 88

80-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна-2026»: сб. науч. ст., специальный выпуск / Под ред. А. В. Рабина; сост. А. А. Дзюбаненко, И. М. Татарникова. СПб.: СПбГУТ, 2026. 441 с.

Рецензент – Бавыкин В. А., доктор технических наук, Почетный работник науки и техники РФ, Военный учебно-научный центр Военно-морского флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова»

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Киричек Р. В. – доктор технических наук, профессор, ректор СПбГУТ

Заместитель председателя

Рабин А. В. – доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе СПбГУТ

Ответственный секретарь

Дзюбаненко А. А. – кандидат технических наук, доцент, начальник управления организации научной работы и подготовки научных кадров СПбГУТ

Члены программного комитета

Елагин В. С. – кандидат технических наук, доцент, и.о. декана факультета инфокоммуникационных сетей и систем СПбГУТ

Владыко А. Г. – кандидат технических наук, доцент, декан факультета радиоэлектронных систем и робототехники СПбГУТ

Литвинов В. Л. – кандидат технических наук, доцент, и.о. декана факультета информационных технологий и программной инженерии СПбГУТ

Зикратов И. А. – доктор технических наук, профессор, декан факультета кибербезопасности СПбГУТ

Шутман Д. В. – кандидат политических наук, доцент, декан факультета социальных технологий и экономики данных СПбГУТ

Гирш В. А. – полковник, начальник военного учебного центра СПбГУТ

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Абилов А. В. – кандидат технических наук, доцент, первый проректор – проректор по учебной работе

Сопредседатель

Савченко А. Ю. – проректор по молодежной политике и воспитательной работе

Ответственный секретарь

Татарникова И. М. – шеф-редактор объединенной редакции рецензируемых научных изданий

Члены организационного комитета

Ивасишин С. И. – кандидат технических наук, директор департамента организации и качества образовательной деятельности

Лысов А. Н. – директор департамента по эксплуатации и развитию материально-технического комплекса

Гуршал К. Ю. – начальник управления маркетинга и рекламы

Зыкова Н. В. – начальник управления информационно-образовательных ресурсов

Лупой Р. С. – начальник управления информатизации

В научных статьях участников конференции исследуются состояние и перспективы развития мирового и отечественного уровня IT и телекоммуникаций. Предназначено для научных работников, аспирантов, студентов старших курсов телекоммуникационных вузов, инженерно-технических работников и специалистов отрасли связи.

ISBN 978-5-89160-407-0

© СПбГУТ, 2026

- 7 Инфокоммуникационные сети и системы**
- 7 Бадасян А. Н., Дементьев М. Е., Юрьева А. С.** Адаптивные механизмы автоскейлинга в контейнерных оркестраторах: влияние на эффективность распределенных систем
- 15 Барановский Е. И., Тишков А. О.** Влияние актуальности эфемерид на изменение орбитальных параметров и положения космического аппарата
- 21 Боллуев Р. Х.** Использование преобразования Меллина для повышения инвариантности коррелятора совместного преобразования к повороту и изменению масштаба входного изображения
- 26 Васильев Н. С., Нестеров В. Г., Пелевкин М. В.** Численное моделирование атак на протокол BB84 и анализ вероятности их обнаружения.
- 32 Васьковский М. В., Петров Ю. В.** Исследование влияния способа кодирования уровней яркости 8-битных изображений с различными распределениями на величину искажений при одиночных битовых ошибках
- 39 Волков А. Н., Маршев Д. В.** От Smart City к Citiverse: технологические основы трансформации городской среды
- 45 Воробьева К. А., Маколкина М. А.** Сети CAN и их вероятностно-временные характеристики
- 49 Гольдштейн А. Б., Новожилова В. Д.** Разработка интеллектуальной системы мониторинга пациентов на базе Private LTE
- 55 Гольдштейн А. Б., Танашев С. Р.** Интеллектуальное управление туннелями MPLS over QUIC в реальном времени
- 60 Гольдштейн А. Б., Харченко А. Г.** Оценка целесообразности применения нейронных сетей для сбора данных в CRM-системах
- 66 Даль К. С.** Разработка мобильного программно-аппаратного комплекса для мониторинга и анализа загрузки радиосети стандарта IEEE 802.11
- 70 Дунайцев Р. А., Саитов Н. М.** Исследование влияния сетевых характеристик на работу VR-приложений
- 73 Жиряков В. П.** Исследование различных конфигураций сабвуферного массива на примере концертной площадки «Аврора»
- 78 Зимин А. В., Кондратьев А. М.,** Исследование возможностей применения сетей Петри для тестирования протоколов сетей пятого поколения
- 82 Качнов А. В.** Обобщенная математическая модель ММО канала акустического трансформатора
- 87 Круглова А. В.** Интерактивные звуковые образовательные среды: сравнительный анализ существующих решений и принципы проектирования
- 93 Марочкина А. В., Тимофеев Л. А., Чигвинцева Е. А.** Расширенная модель GitOps для управления процессами развертывания Kubernetes
- 97 Павлов А. С., Фокин Г. А.** Основы построения и функционирования корреляционной базы данных в задачах позиционирования методом радиоотпечатков
- 102 Паршин А. В., Рютин К. Е., Тиора А. М.** Сборка и установка драйвера UHD и экспериментальная апробация FM-приемника в среде GNU Radio

- 108 **Сединкин И. Б.** Моделирование CDMA-каналов в системах передачи данных с OFDM
- 114 **Терентьева С. А.** Исследование методов перцепционной оценки качества аудиоконтента
- 120 **Туроватов Р. А.** Сравнительный анализ акустических характеристик штатной и модернизированной аудиосистем в салоне автомобиля
- 126 **Щелочков А. С.** Моделирование оптического переключателя wss с технологией Flex Grid
- 132 **Радиоэлектронные системы и робототехника**
- 132 **Андреев Г. А., Волынкин П. А., Германович И. О., Югай О. К.** Система управления роботизированным манипулятором на основе распознавания жестов: реализация на Raspberry Pi 5 и Arduino Uno с использованием ROS2
- 139 **Гах К. Н., Попугаев Д. Г., Шабанов А. П.** Архитектурные подходы к интеграции сервисов аутентификации в микросервисные системы
- 144 **Голов П., Долматова О. А., Маматуллин Е. Р.** От «Колеса Франклина» к космической тяге: экспериментальное моделирование ионного двигателя
- 149 **Деткова В. М., Курбатский Л. С., Рягузова М. С., Сидоров А. Д.** Исследование и программная реализация метода линейного предсказательного кодирования для анализа, сжатия и восстановления речевых сигналов
- 155 **Митенев Е. А., Усс В. С.** Разработка системы управления сферического робота
- 160 **Мыльников И. П., Шарихина Ю. В.** Улучшение динамических характеристик автомобиля с помощью активных аэродинамических панелей
- 166 **Пирогов Н. С.** Анализ распространения радиосигналов над водной поверхностью на трассе «Земля - космос»
- 172 **Попов И. Ю.** Разработка и исследование моделей для децентрализованных геоинформационных систем
- 177 **Третьяков М. И., Шарихина Ю. В.** Исследование движения микрочастиц в свободном пространстве и в поле потенциальных сил с помощью компьютерного моделирования в ПО «Mathcad»
- 183 **Информационные технологии и программная инженерия**
- 183 **Баранов А. А., Шиян П. А.** Архитектура и реализация графической библиотеки на Zig Vulkan с C-интерфейсом совместимости для межъязыковой интеграции
- 187 **Бондаренко И. П., Матвеев П. В.** Исследование влияния смешанной точности на скорость обучения нейронных сетей
- 192 **Волков И. Р., Коровкина Е. В.** Применение алгоритмов машинного обучения для анализа медицинских данных
- 196 **Ворожцов Г. С.** Цифровая платформа для изучения истории на основе интерактивных контурных карт с серверным управлением
- 201 **Воскресенская Ю. Д., Гунина Е. В.** Модульная архитектура информационной системы для театра с учетом специфики творческой организации
- 208 **Горлова О. В., Коровкина Е. В.** Анализ существующих веб-платформ для организации репетиторских услуг
- 213 **Горохов Д. Г., Лабковская Р. Я.** Интерфейс оператора для управления роевыми системами БПЛА в реальном времени

- 219 **Дыкин Е. К., Мусаева Т. В.** Аспекты реалистичности изображения при 3D-сканировании
- 225 **Коломиец А. Р., Морозов М. Е., Славин А. В.** Метод глобального сопоставления элементов веб-страницы для автоматизированного выявления регрессионных изменений интерфейса
- 232 **Молодняков С. А., Фокин А. С.** Гибридный подход к обнаружению мошенничества в транзакционных системах на основе методов классификации и анализа аномалий
- 237 **Молоковская В. Б.** Макроэкономический анализ вычислительной инфраструктуры орбитальных центров обработки данных
- 242 **Мунасипов Т. Р., Никитин М. В., Шехов Ф. П.** Реализация Mesh-сети на базе микроконтроллеров ESP32
- 246 **Озеров И. О., Помогалова А. В.** Легкий детектор упакованных исполняемых файлов на основе блочного энтропийного профилирования и структурного анализа
- 254 **Слезак Г. Д.** Эмоционально-лингвистическая сопряженность и само-модель аффекта для моделирования внутреннего эмоционального состояния в искусственном интеллекте
- 260 **Слободчиков И. Д.** SQL-агент как самостоятельный модуль в AI-пайплайне.
- 267 **Слободчиков И. Д.** Контекстно-расширенная генерация (CAG): Принципы, оптимизация и сравнительный анализ с RAG
- 274 **Тышко И. А.** Протокол взаимодействия автономных подводных роботов для организации поиска
- 281 **Челноков А. Д.** Разработка и исследование двухэтапного алгоритма загрузки метаданных в мультимедийном плеере
- 288 **Кибербезопасность**
- 288 **Алешина Е. С.** Программная модель криптосистемы NTRU для исследовательских и учебных целей
- 296 **Антипина С. О., Гололобов И. В., Карачев И. В., Строило А. Ю.** Анализ угроз для автоматизированных систем управления технологическими процессами как объектов критической информационной инфраструктуры
- 302 **Антипина С. О., Манжула А. О.** Методы сопоставления устройств на основе идентификационных признаков
- 308 **Зуев Д. П.** Многоуровневая система обнаружения аномалий на основе межсетевого экрана USERGATE и самоорганизующихся карт Кохонена для защиты интернета вещей в сетях 6G
- 312 **Карышев А. И.** Разработка инструмента для оценки эффективности методов повышения конфиденциальности транзакций в сети Bitcoin
- 320 **Кушнир Л. Д.** Оптимизация параметров стегосистемы повышенной скрытности
- 325 **Перцев Д. С.** Атака ESXiArgs на серверы VMware ESXi: особенности поражения виртуализированных ЦОД и методы защиты
- 329 **Потемкина Ю. Ф.** Распределенный SOAR для защиты периметра 6G на граничных вычислениях
- 336 **Строило А. Ю.** Модели и алгоритмы обнаружения аномалий в системах хранения данных
- 341 **Шарифов Р. Г., Штеренберг С. И.** Мониторинг безопасности в 6G-сетях: ожидаемые требования и роль SIEM
- 347 **Швыдко У. А.** Расширение функционала цифровых двойников для обеспечения информационной безопасности сетей передачи данных

- 352 Социальные технологии и экономика данных**
- 352 Абдалини И. И., Шутман Д. В.** Неидеальность как стратегия: ИИ-контент и доверие аудитории в VK
- 355 Волчик О. В., Гончарова Я. И., Макаров В. В.** Анализ структуры конкурентного преимущества в информационно-насыщенных сферах
- 360 Гайпель В. И.** Philips как health-tech лидер: путь к персонализированной медицине через сквозную цифровизацию
- 366 Доморацкая Е. К., Косякова К. В.** Тренды развития финансовой культуры на основе расчета индексов
- 372 Егорова М. А., Платонова Я. В.** Программы лояльности как фактор удержания клиентов на рынке финансовых услуг в условиях цифровизации
- 376 Жемчужная А. И., Максимова К. Р.** Репутация как актив: как данные о бренде влияют на продажи
- 381 Макаров В. В., Фокичев А. А.** Анализ влияния технологии 5G на развитие услуг для бизнеса в телекоммуникациях
- 387 Молчанова Т. В., Остроумова А. М.** Экологизация похоронных практик в Китае: между культурной памятью и государственной политикой
- 393 Никифорова А. А.** Эволюция рекламных коммуникаций в системе высшего образования: от СМИ до таргетинга в социальных сетях
- 400 Пантелеев Д. А.** Интеграция блокчейн-технологии в российский банковский сектор на примере цифровых финансовых активов
- 406 Проворов С. Д., Селиверстов В. Л.** «Да будет нефть»! О фильме Пола Томаса Андерсона и новом понимании пуританской этики в начале XX века в США
- 411 Селиверстов В. Л., Яковенко С. И.** Художественная структура короткометражной анимации К. Бронзита «Мы не можем жить без космоса»: пространство, время и визуальный образ
- 416 Терентьева Ю. Г.** Школьное питание как поле борьбы за новую французскую идентичность
- 421 Турбал А. С., Флерко Д. А.** Вовлеченность клиентов как эффективный инструмент цифрового маркетинга
- 426 Ухалов О. А.** Стихи без души? Искусственный интеллект и кризис авторского присутствия
- 430 Шепурева С. С.** Трансформация экономики Гонконга: от логистического хаба к лидеру глобальной конкурентоспособности
- 435 Шумельная А. А.** Особенности формирования и развития цифровых экосистем в телекоммуникационной отрасли

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

УДК 004.75

АДАПТИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АВТОСКЕЙЛИНГА В КОНТЕЙНЕРНЫХ ОРКЕСТРАТОРАХ: ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

А. Н. Бадасян (студент группы ИКВТ-31, СПбГУТ), badasian.an@sut.ru

М. Е. Дементьев (студент группы ИКВТ-31, СПбГУТ), dementev.me@sut.ru

А. С. Юрьева (студент группы ИКВТ-31, СПбГУТ), iureva.as@sut.ru

В условиях распространения микросервисной архитектуры возрастает значение механизмов автоматического масштабирования, обеспечивающих адаптацию вычислительных ресурсов к изменению нагрузки. В статье рассматриваются основные стратегии автоскейлинга в Kubernetes и анализируются условия их эффективного применения в зависимости от архитектуры сервиса и характера нагрузки.

Kubernetes, масштабирование, контейнеризация, микросервисная архитектура, HPA, VPA, KEDA

ADAPTIVE AUTOSCALING MECHANISMS IN CONTAINER ORCHESTRATORS: IMPACT ON THE EFFICIENCY OF DISTRIBUTED SYSTEMS

Badasyan A., Dementiev M., Yurieva A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

With the proliferation of microservice architecture, the importance of automatic scaling mechanisms that ensure the adaptation of computing resources to fluctuating loads is increasing. This article examines the primary autoscaling strategies in Kubernetes and analyzes the conditions for their effective application depending on the service architecture and workload characteristics.

Key words: Kubernetes, scaling, containerization, microservice architecture, HPA, VPA, KEDA

Введение

В настоящее время при разработке приложений все чаще используется микросервисная архитектура, при которой система делится на независимые сервисы, взаимодействующие через сетевые интерфейсы. Такой подход позволяет развертывать компоненты независимо и изменять число их экземпляров в зависимости от нагрузки, что повышает отказоустойчивость системы. Однако при использовании такой архитектуры усложняется эксплуатация приложения: требуется автоматически восстанавливать отказавшие экземпляры сервисов, обеспечивать корректное взаимодействие между компонентами, согласованно выполнять обновление версий и адаптировать количество экземпляров к изменению входящей нагрузки.

Для решения подобных задач широко используются платформы оркестрации контейнеров, среди которых стандартом является Kubernetes [1]. Помимо управления жизненным циклом контейнеров, Kubernetes предоставляет механизмы автоматического масштабирования контейнеров, позволяющие изменять объем выделяемых ресурсов в зависимости от текущей нагрузки на приложение.

Приложения делятся на *stateless*, не сохраняющие данные между запросами, и *stateful*, сохраняющие данные и требующие их согласованности (например, базы данных). Поскольку Kubernetes не обеспечивает консистентность данных, *stateful*-приложения, как правило, масштабируются через сторонние специализированные операторы. Цель настоящего исследования – сравнить механизмы масштабирования *stateless*-приложений и определить условия рационального применения каждого из них.

Механизмы автоматического масштабирования в Kubernetes

В Kubernetes вычислительные ресурсы объединяются в кластер нод – физических или виртуальных машин, на которых запускаются контейнеризированные экземпляры приложений, называемые подами. Каждому поду задаются минимальные гарантированные ресурсы (*requests*) и максимальные пределы их потребления (*limits*). Автоскейлинг управляет количеством подов и объемом выделяемых им ресурсов, обеспечивая адаптацию системы к нагрузке. Общая структура кластера Kubernetes изображена на рис. 1.

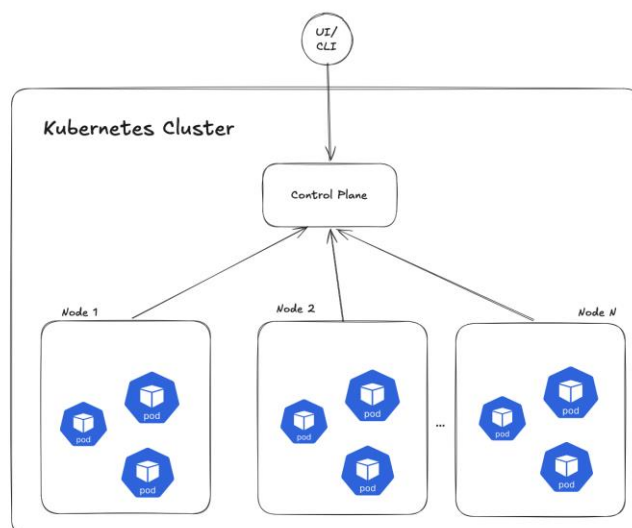


Рис. 1. Схема кластера Kubernetes

Horizontal Pod Autoscaler (HPA) изменяет количество подов на основе встроенных (CPU, память) или пользовательских метрик [1]. HPA не поддерживает уменьшение числа реплик до нуля (scale-to-zero) при отсутствии нагрузки, что может приводить к неэффективному использованию ресурсов. Кроме того, для работы с custom-метриками требуется настройка дополнительной инфраструктуры, например, Metrics Server или Prometheus Adapter [1].

Для решения этих ограничений используется KEDA (Kubernetes Event-Driven Autoscaler) – расширение HPA с более чем 60 встроенными триггерами для событийно-ориентированного масштабирования и поддержкой scale-to-zero. В качестве метрик масштабирования в KEDA могут выступать длина очереди сообщений, число необработанных отступов в партиции Kafka, результат запроса к Prometheus или состояние записей в базах данных – то есть любой показатель, прямо коррелирующий с накопленной нагрузкой. KEDA наиболее эффективен для приложений с нерегулярной или внезапно изменяющейся нагрузкой, тогда как для постоянно загруженных сервисов ее возможности могут быть избыточными [2, 3].

Vertical Pod Autoscaler (VPA) изменяет объем ресурсов, выделяемых каждому поду (request и limits). По умолчанию перераспределение ресурсов требует перезапуска подов, что может увеличивать задержки. Поэтому VPA чаще используется в режиме без перезапуска подов (off) для формирования рекомендаций по ресурсным ограничениям, которые позже применяются вручную [4, 5].

Важно упомянуть, что одновременное использование HPA и VPA для одной метрики недопустимо, так как конкурирующие изменения механизмов приводят к непредсказуемому поведению системы.

Исследование эффективности стратегий масштабирования

Эффективность конкретной стратегии масштабирования – горизонтальной, вертикальной или событийно-ориентированной – определяется характером нагрузки, архитектурой и сценариями использования сервиса.

Для анализа производительности различных стратегий масштабирования были проведены эксперименты с использованием генератора нагрузки k6. Эксперименты выполнялись в течение с синусоидальной нагрузкой, имитирующей циклическое увеличение и снижение числа запросов. Нагрузка длилась 20 минут, далее, при надобности, метрики снимались дальше без нагрузки.

Для анализа производительности снимались следующие метрики: количество подов (pods_count), загрузка CPU (cpu_cores), потребление памяти (memory_mb), задержка 99-го перцентиля (p99_latency_ms), накопление сообщений в очереди (queue_lag – только для KEDA) и количество подов, ожидающих запуска (pending pods – только для VPA).

В рамках первого эксперимента оценивалась эффективность горизонтального масштабирования. Сравнивалось поведение системы с масштабированием по CPU для stateless HTTP-сервиса и с использованием очереди сообщений RabbitMQ.

Данный эксперимент показывает, что HPA масштабирование эффективно только для приложений, в которых нагрузка на CPU отражает нагрузку на сервер. В случае с использованием очереди HPA не учитывает ее загруженность, сообщения накапливаются, CPU не растет, поды не увеличиваются – пользователи испытывают большие задержки.

Для сравнения проводился второй эксперимент в идентичных условиях. В его рамках анализировалось событийно-ориентированное масштабирование с использованием KEDA в связке с RabbitMQ, где метрикой масштабирования служила длина очереди сообщений. По результатам видно, что эксперимент с KEDA накапливает вдвое меньше сообщений в очереди, масштабирует поды с учетом заполнения очереди и загрузки и увеличивает эффективность системы, отчего пользователи испытывают меньшие задержки. Результаты изображены на рис. 2.

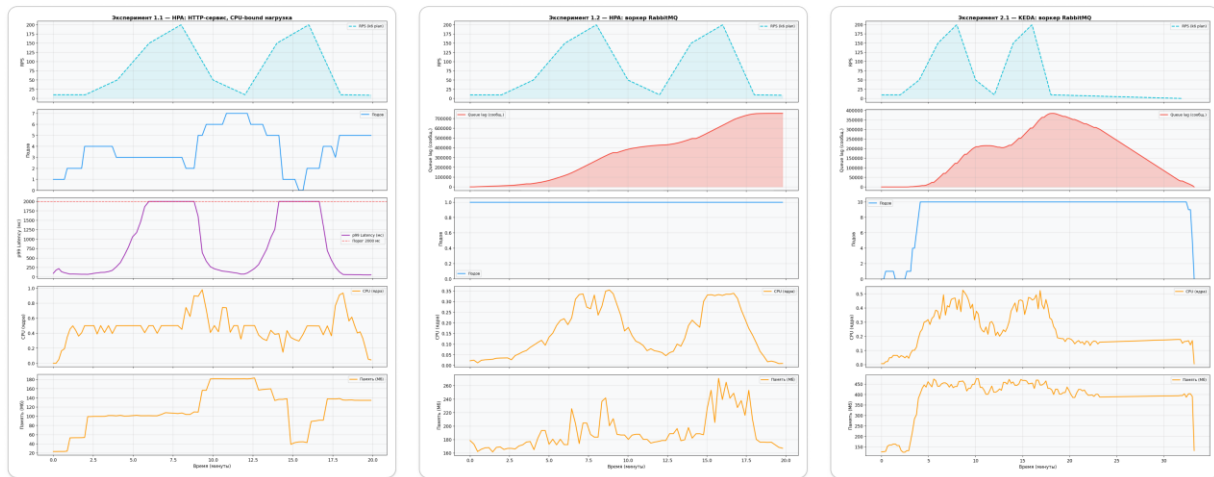


Рис. 2. Результат тестирования HPA с http, HPA с RabbitMQ и KEDA с RabbitMQ

Третий эксперимент был направлен на исследование вертикального масштабирования и его сочетания с другими стратегиями. VPA работал в режиме AUTO и перезапускал поды для применения рекомендованных ресурсов. Рассматривались три конфигурации: только VPA, VPA в комбинации с HPA, VPA вместе с KEDA и RabbitMQ. Результаты изображены на рис. 3.

По результатам данного эксперимента видно, что при использовании VPA в режиме AUTO ресурсы сервера используются эффективнее. Однако VPA вызывает частые перезапуски подов, отчего пользователи испытывают увеличенные задержки (это видно по корреляции графиков метрик `p99 latency` и `pending pods`). Поэтому предпочтительнее использовать VPA в режиме OFF в качестве рекомендаций по выделению ресурсов для подов.

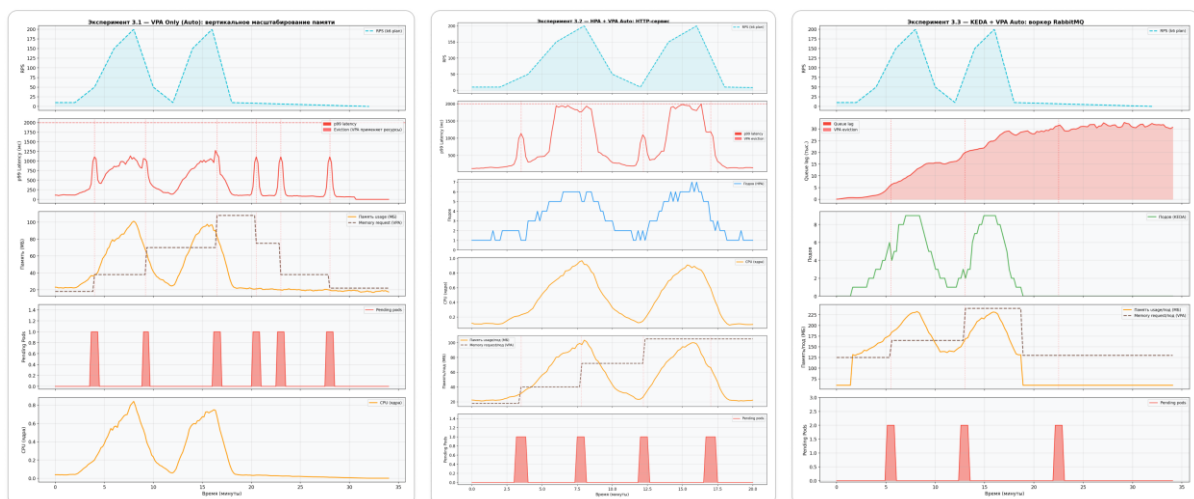


Рис. 3. Результат тестирования VPA

Как было сказано выше, использование HPA и VPA вместе по одной метрике недопустимо. Для доказательства неэффективности такой стратегии был проведен четвертый эксперимент, использующий HPA и VPA масштабирование HTTP сервера по метрике CPU. Результаты изображены на рис. 4.

Данный эксперимент наглядно демонстрирует конфликтное взаимодействие Horizontal Pod Autoscaler и Vertical Pod Autoscaler при использовании одной и той же метрики CPU. Наблюдается выраженная осцилляция количества подов: система попеременно масштабируется вверх и вниз, не достигая устойчивого состояния. Это обусловлено тем, что HPA увеличивает число подов при росте нагрузки, тогда как VPA одновременно пересчитывает и изменяет их ресурсные запросы, инициируя перезапуски. В результате возникает «пилообразная» динамика, сопровождающаяся ростом p99 latency и неэффективным потреблением ресурсов. Дополнительные издержки связаны с частыми пересозданиями подов, поскольку операции масштабирования и рестарта являются дорогостоящими с точки зрения времени и вычислительных ресурсов.

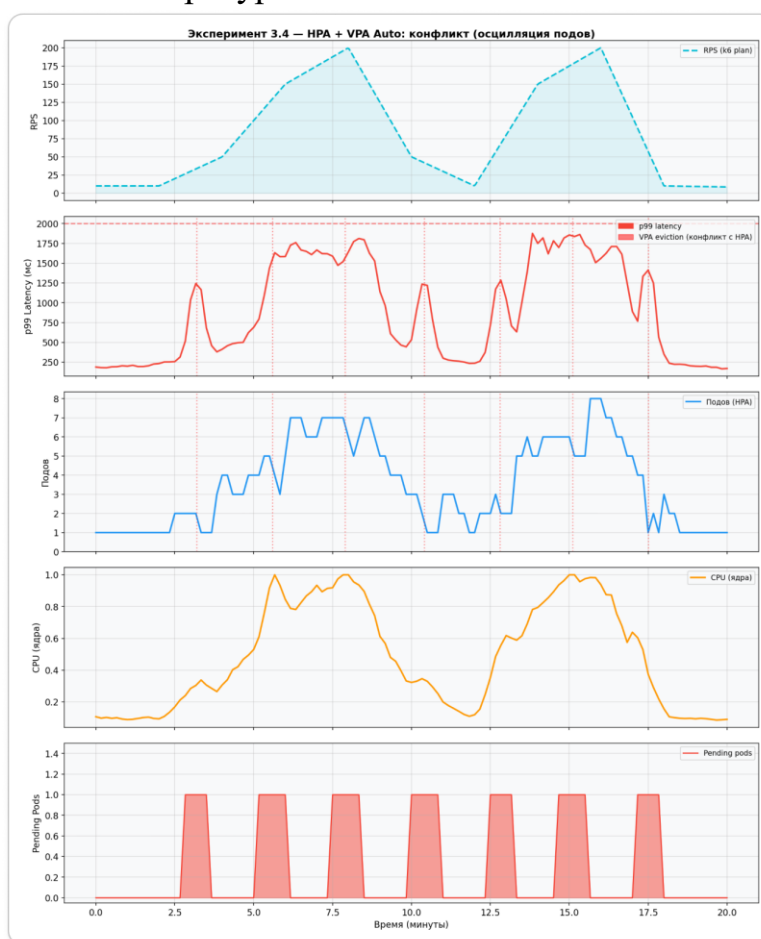


Рис. 4. Результат тестирования VPA и HPA с конфликтом

Выводы

На основе проведенных экспериментов можно сделать вывод, что эффективность механизмов автоскейлинга в Kubernetes в первую очередь зависит от корректного выбора метрики, репрезентативной по отношению к реальной нагрузке на сервис, так как именно на ее основе будут приниматься решения по масштабированию.

Horizontal Pod Autoscaler показывает высокую эффективность в тех случаях, когда потребление CPU и памяти непосредственно отражает реальную нагрузку на сервис. Такая корреляция характерна для синхронных request-driven приложений: API-сервисов, веб-приложений, а также сервисов агрегации или анализа данных. В подобных системах рост числа входящих запросов закономерно влечет рост вычислительной нагрузки, что делает CPU-утилизацию надежной метрикой для принятия решений о масштабировании.

Однако, если нагрузка на CPU и память не отражает фактическое состояние системы, HPA теряет точность масштабирования. Это типично для event-driven архитектур, где сервис может оставаться с низкой вычислительной нагрузкой, одновременно накапливая значительное количество необработанных сообщений. К таким приложениям относятся, например, сервисы асинхронной обработки заказов в e-commerce, конвейеры обработки данных (ETL) сервисы-потребители медиаконтента и приложения, использующие искусственный интеллект. В этих сценариях более подходящим инструментом является KEDA, обеспечивающий более точную и своевременную реакцию на изменение входного потока. Однако использование KEDA требует дополнительной настройки источников метрик и сопровождается более высоким потреблением служебных ресурсов по сравнению с HPA, что следует учитывать при выборе механизма масштабирования.

Vertical Pod Autoscaler на данный момент наиболее применим в режиме рекомендаций (Off, Initial). В режимах Recreate и Auto контроллер периодически перезапускает поды для изменения объема выделяемых им ресурсов, что увеличивает время отклика системы и ухудшает пользовательский опыт. Рекомендации VPA целесообразно применять вручную, например, при плановом обновлении версии приложения, когда перезапуск подов неизбежен.

Список используемых источников

1. Kubernetes Documentation. Horizontal Pod Autoscaler. URL: <https://kubernetes.io/docs/tasks/run-application/horizontal-pod-autoscale/> (дата обращения: 01.04.2026).
2. Автомасштабирование на основе событий Kubernetes (KEDA) // Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/aks/keda-about> (дата обращения: 01.04.2026).
3. Smart HPA: A Resource-Efficient Horizontal Pod Auto-scaler for Microservice Architectures. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2403.07909> (дата обращения: 01.04.2026).
4. Автоскейлинг в Kubernetes: HPA, VPA и Cluster Autoscaler // Habr. 2024. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/818945/> (дата обращения: 01.04.2026).
5. Автоматическое вертикальное масштабирование pod в службе Azure Kubernetes (AKS) // Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/aks/vertical-pod-autoscaler> (дата обращения: 01.04.2026).

*Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры СС и ПД СПбГУТ
А. В. Марочкиной.*

УДК 629.78

ВЛИЯНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ЭФЕМЕРИД НА ИЗМЕНЕНИЕ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ПОЛОЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Е. И. Барановский (студент группы ИКТР-12, СПбГУТ),
baranovskii.ei@sut.ru

А. О. Тишков (ассистент кафедры БТС СПбГУТ), tishkov.ao@sut.ru

В данной работе рассматривается влияние актуальности орбитальных параметров, представленных в формате TLE, на точность определения положения космического аппарата на орбите и изменение его орбитальных характеристик. TLE содержат параметры орбиты на определенную эпоху и используются совместно с моделью движения для расчета положения и скорости КА, на основе которых формируются эфемериды. Показано, что с увеличением времени, прошедшего с момента формирования TLE, возрастает ошибка определения положения космического аппарата. На основе проведенных расчетов обоснована необходимость применения актуальных TLE при решении задач определения положения космического аппарата.

двухстрочные элементы орбиты, TLE, эфемериды, Кеплеровы элементы, ошибка определения положения, MATLAB

INFLUENCE OF EPHEMERIS RELEVANCE ON CHANGES IN THE ORBITAL PARAMETERS AND POSITION OF A SPACECRAFT

Baranovskiy E., Tishkov A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper examines the influence of the currency of orbital parameters represented in TLE format on the accuracy of spacecraft position determination and the variation of its orbital characteristics. TLE sets contain orbital parameters referenced to a specific epoch and are used together with a propagation model to compute the position and velocity of a spacecraft, from which ephemerides are derived. It is shown that as the time elapsed since TLE generation increases, the error in spacecraft position determination grows accordingly. Based on the calculations performed, the necessity of using up-to-date TLE data for spacecraft positioning tasks is substantiated.

Key words: two-line element set, TLE, ephemeris, Keplerian elements, position determination error, MATLAB

Эфемериды представляют собой набор данных, в которых содержится информация о положении и скорости космического аппарата в пространстве в заданный момент времени. Эфемериды могут формироваться различ-

ными способами. Одним из способов получения исходных данных для эфемерид являются двухстрочные элементы орбиты (TLE – Two-Line-Element), представляющие собой набор орбитальных элементов для искусственного спутника Земли в определенный момент времени.

Поскольку TLE содержат параметры орбиты на конкретную эпоху, их актуальность со временем снижается под воздействием возмущающих факторов: нецентральности гравитационного поля Земли, атмосферного торможения, гравитационного воздействия Луны и Солнца, а также давления солнечного излучения [1, 2]. Это приводит к расхождению между расчетным и фактическим положением космического аппарата. Целью данной работы является оценка влияния давности TLE на точность определения положения КА.

Для проведения дальнейшего анализа рассмотрим структуру двухстрочных элементов орбиты (TLE), используемых в качестве исходных данных. Каждый TLE-набор содержит параметры орбиты космического аппарата, заданные на определенную эпоху, и состоит из двух строк фиксированного формата. Расшифровка полей первой и второй строк TLE представлена в табл. 1 и табл. 2 соответственно. Ниже приведен пример TLE для спутника Iridium (NORAD 43578):

```
1 43578U 18061K 25365.41294447 .00000029 00000-0 33133-5 0 7503
2 43578 86.3991 126.8672 0001929 95.1760 264.9656 14.34217879389336
```

ТАБЛИЦА 1. Структура первой строки TLE

Значение	Параметр	Описание
1	Номер строки	Первая строка TLE
43578	NORAD ID	Идентификационный номер КА в каталоге NORAD
U	Тип объекта	U – несекретный объект
18	Год запуска	2018 год
061	Номер запуска	61-й запуск в данном году
K	Обозначение	Конкретный объект запуска
25365.41294447	Эпоха	365-й день 2025 года и дробная часть суток

Значение	Параметр	Описание
.000000029	$\dot{n}$	Первая производная среднего движения
00000-0	$\ddot{n}$	Вторая производная среднего движения (≈ 0)
33133-5	BSTAR	Коэффициент атмосферного торможения
0	Тип эфемерид	Обычно 0
750	Номер набора	Версия (номер) TLE
3	Контрольная сумма	Проверка корректности строки

ТАБЛИЦА 2. Структура второй строки TLE

Значение	Параметр	Обозначение	Описание
2	Номер строки		Вторая строка TLE
43578	NORAD ID		Должен совпадать с первой строкой
86.3991	Наклонение	i	Угол наклона орбиты к плоскости экватора, град
126.8672	Долгота восходящего узла	Ω	Долгота восходящего узла (RAAN), град
0001929	Эксцентриситет	e	Безразмерная величина (0.0001929)
95.1760	Аргумент перигея	ω	Ориентация орбиты в плоскости, град
264.9656	Средняя аномалия	M	Положение КА на орбите в эпоху, град
14.34217879	Среднее движение	n	Число оборотов в сутки

Следует отметить, что TLE не содержат непосредственных координат космического аппарата, а задают орбитальные параметры, на основе кото-

рых рассчитываются его положение и скорость. В данной работе расчет положения КА в заданные моменты времени выполняется с помощью MATLAB Satellite Communications Toolbox [3].

Поскольку двухстрочные элементы орбиты задают параметры движения космического аппарата на определенную эпоху, с течением времени их актуальность снижается. Для наглядного анализа процесса изменения орбитальных параметров во времени были построены графики зависимости основных Кеплеровых элементов орбиты от эпохи TLE для спутника Iridium NEXT (NORAD 43578) за 2025 год (рис. 1). Исходные данные получены из архива TLE открытого доступа [4].

Анализ графиков показывает, что наклонение и среднее движение орбиты остаются практически постоянными, тогда как долгота восходящего узла изменяется линейно вследствие прецессии орбиты. Эксцентриситет, аргумент перигея и средняя аномалия демонстрируют нерегулярные изменения под воздействием возмущающих факторов.

Для оценки влияния актуальности TLE на точность определения положения космического аппарата был разработан вычислительный скрипт с использованием MATLAB Satellite Communications Toolbox. Скрипт позволяет рассчитывать положение КА по TLE различных эпох в один и тот же момент времени, соответствующий эпохе наиболее актуального набора данных, а также определять расстояние между полученными положениями.

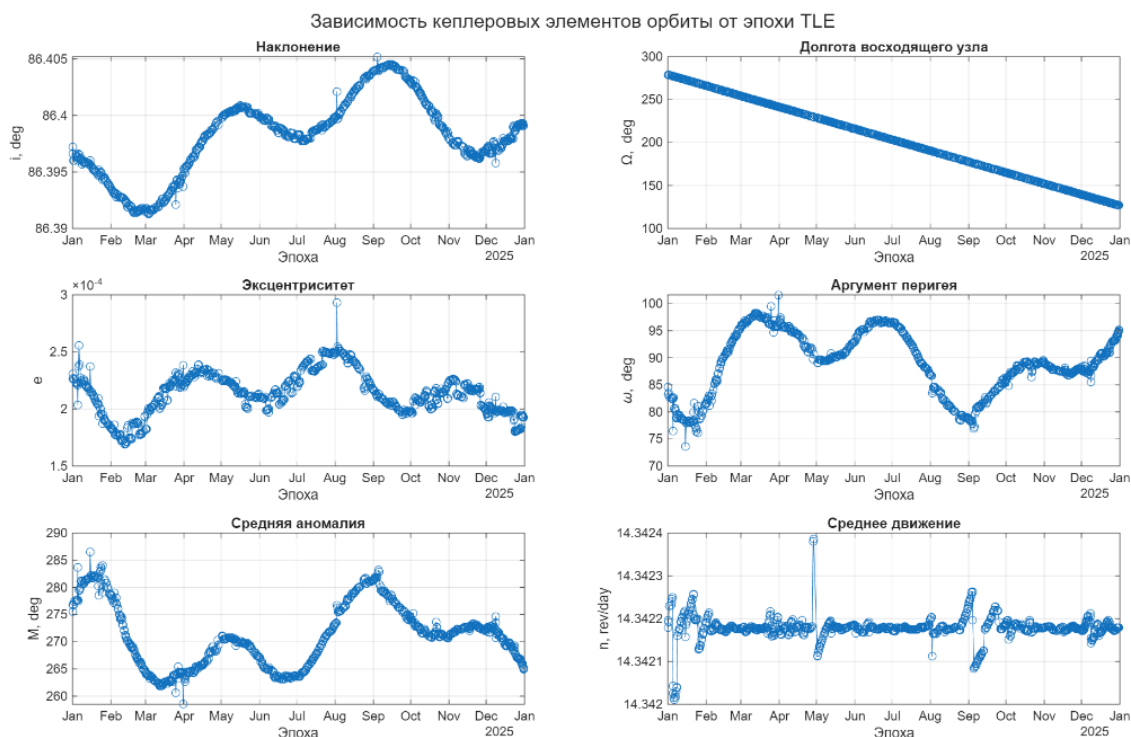


Рис. 1. Графики зависимости Кеплеровых элементов от эпохи

Расчет выполняется в едином моменте времени, что позволяет исключить влияние временного сдвига и оценить исключительно влияние устаревания исходных орбитальных параметров. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Результаты расчета ошибки определения положения КА

TLE	Возраст, ч	Ошибка, км
0h	0	0,000000
3h	3	0,017818
8h	8	0,034739
13h	13	0,063768
15h	15	0,073187
24h	24	0,099947
28h	28	0,141589
32h	32	0,186590
40h	40	0,226608
2d	48	0,261693
49h	49	0,261693
3d	72	1,017184
4d	96	1,701860
5d	120	1,793778
6d	144	1,175952
7d	168	0,647090
14d	336	9,890749
30d	720	23,097189
90d	2160	770,063829

На основе проведенных расчетов установлено, что ошибка определения положения космического аппарата возрастает с увеличением возраста используемых TLE. На малых интервалах времени (до 24 часов) наблюдается незначительное увеличение ошибки: расстояние между положениями, рассчитанными по актуальным и устаревшим TLE, не превышает 100 м. Это

свидетельствует о высокой точности TLE при их использовании на коротких временных интервалах.

При увеличении интервала до 2 суток ошибка возрастает до ~260 м, оставаясь относительно небольшой. Однако, начиная с интервалов порядка 3–5 суток, наблюдается существенный рост ошибки, достигающий значений более 1 км. На более длительных интервалах (14–30 суток) ошибка увеличивается до десятков километров, что указывает на значительное снижение точности. Максимальное значение ошибки, полученное при использовании TLE с возрастом 90 суток, составляет порядка 770 км, что свидетельствует о полной потере актуальности таких данных для задач точного определения положения КА.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что актуальность TLE оказывает существенное влияние на точность определения положения космического аппарата, а использование устаревших данных приводит к быстрому накоплению ошибки.

Список используемых источников

1. Бордовицына Т. В., Авдюшев В. А. Теория движения искусственных спутников Земли. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2008. 178 с.
2. Эльясберг П. Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. М.: Наука, 1965. 540 с.
3. MathWorks. Satellite Communications Toolbox. URL: <https://www.mathworks.com/products/satellite-communications.html> (дата обращения: 25.04.2025).
4. Space-Track.org – The Source for Space Data. URL: <https://www.space-track.org> (дата обращения: 25.04.2025).

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры БТС СПбГУТ А. М. Синильниковым.

УДК 528.854

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕЛЛИНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНВАРИАНТНОСТИ КОРРЕЛЯТОРА СОВМЕСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ К ПОВОРОТУ И ИЗМЕНЕНИЮ МАСШТАБА ВХОДНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Р. Х. Боллуев (студент группы МФИ-2551, СПбГУТ), bolluev.rh@sut.ru

Современные системы распознавания образов требуют высокой устойчивости к геометрическим искажениям – в частности, к поворотам и масштабированию объектов. Классические оптические корреляторы совместного преобразования (КСП) демонстрируют высокую скорость и точность сопоставления изображений, но не обладают инвариантностью к указанным преобразованиям. В предлагаемой работе исследуется модификация КСП с использованием преобразования Меллина в полярных координатах. Это позволяет обеспечить инвариантность к повороту и изменению масштаба входных образов без существенной потери точности распознавания.

коррелятор совместного преобразования, инвариантность распознавания изображений к масштабу и повороту, преобразование Меллина, математическое моделирование.

USING THE MELLIN TRANSFORM TO INCREASE THE INVARIANCE OF THE JOINT TRANSFORM CORRELATOR TO ROTATION AND SCALING OF THE INPUT IMAGE

Bolluev R.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

Modern image recognition systems require high resistance to geometric distortions; in particular, to rotation and scaling of objects. Classical joint transform correlators (JTCs) demonstrate high speed and accuracy of image matching, but they do not have invariance to these transformations. In this paper, the modification of the JTC using the Mellin transform in polar coordinates is studied. Such modification allows to ensure invariance to rotation and scaling of input images without significant loss of recognition accuracy.

Key words: joint transform correlator, scale and rotation image recognition invariance, Mellin transform, mathematical modelling

Классический когерентный оптический коррелятор совместного преобразования (КСП) обладает рядом недостатков. Двумя основными являются следующие: отсутствие инвариантности к повороту – поворот распознаваемого изображения приводит к снижению амплитуды корреляционных пи-

ков (рис. 1а), и чувствительность к масштабированию – изменение масштаба объекта вызывает рассогласование пространственных частот, что также снижает корреляционный отклик (рис. 1б).

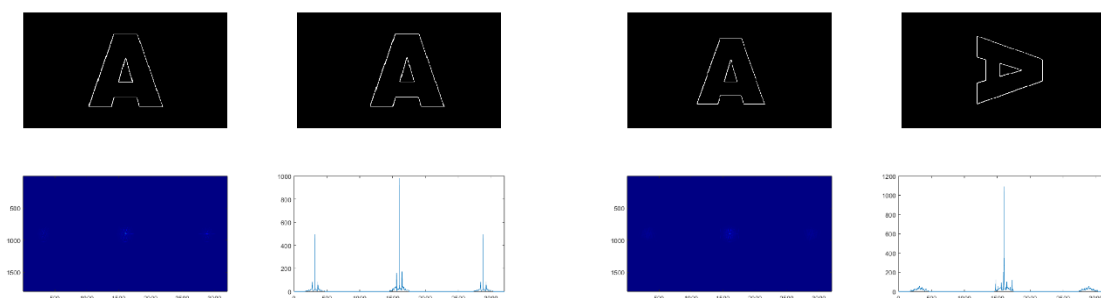


Рис. 1а. Снижение амплитуды корреляционных пиков при повороте распознаваемого изображения на 90 градусов по часовой стрелке в модели КСП

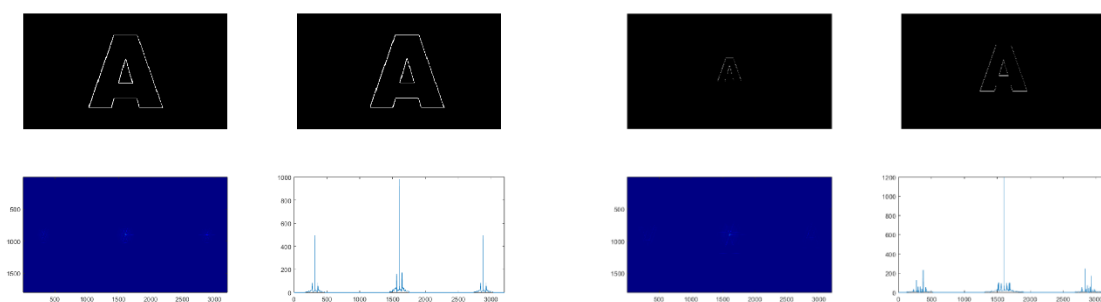


Рис. 1б. Снижение амплитуды корреляционных пиков при увеличении распознаваемого изображения в два раза в модели КСП

Эти ограничения делают применение классического КСП для реальных задач затруднительным, так как в реальных условиях объекты могут быть повернуты и/или масштабированы [1-5].

Для достижения инвариантности корреляторов к указанным трансформациям предложено несколько модификаций. Одной из них является совокупность полярно-логарифмического (далее – лог-полярного) преобразования, и преобразования Меллина к входным сигналам КСП – они позволяют достичь инвариантности: переход к лог-полярной системе координат позволяет представить поворот и масштабирование входного изображения как смещение по оси угловой и радиальной координат соответственно; воспользовавшись при этом инвариантностью классического КСП к смещению входного изображения вдоль пространственных осей (абсцисс и ординат), можно значительно повысить устойчивость модифицированного КСП к вышеописанным искажениям входных изображений. Применив далее преобразование Фурье к входным сигналам КСП с измененными координатами, получаем преобразование Меллина входного изображения по радиальной

координате и преобразование Фурье по угловой. Согласно теореме сдвига преобразования Фурье, модуль таким образом обработанных входных сигналов КСП не зависит от масштаба и поворота исходных изображений.

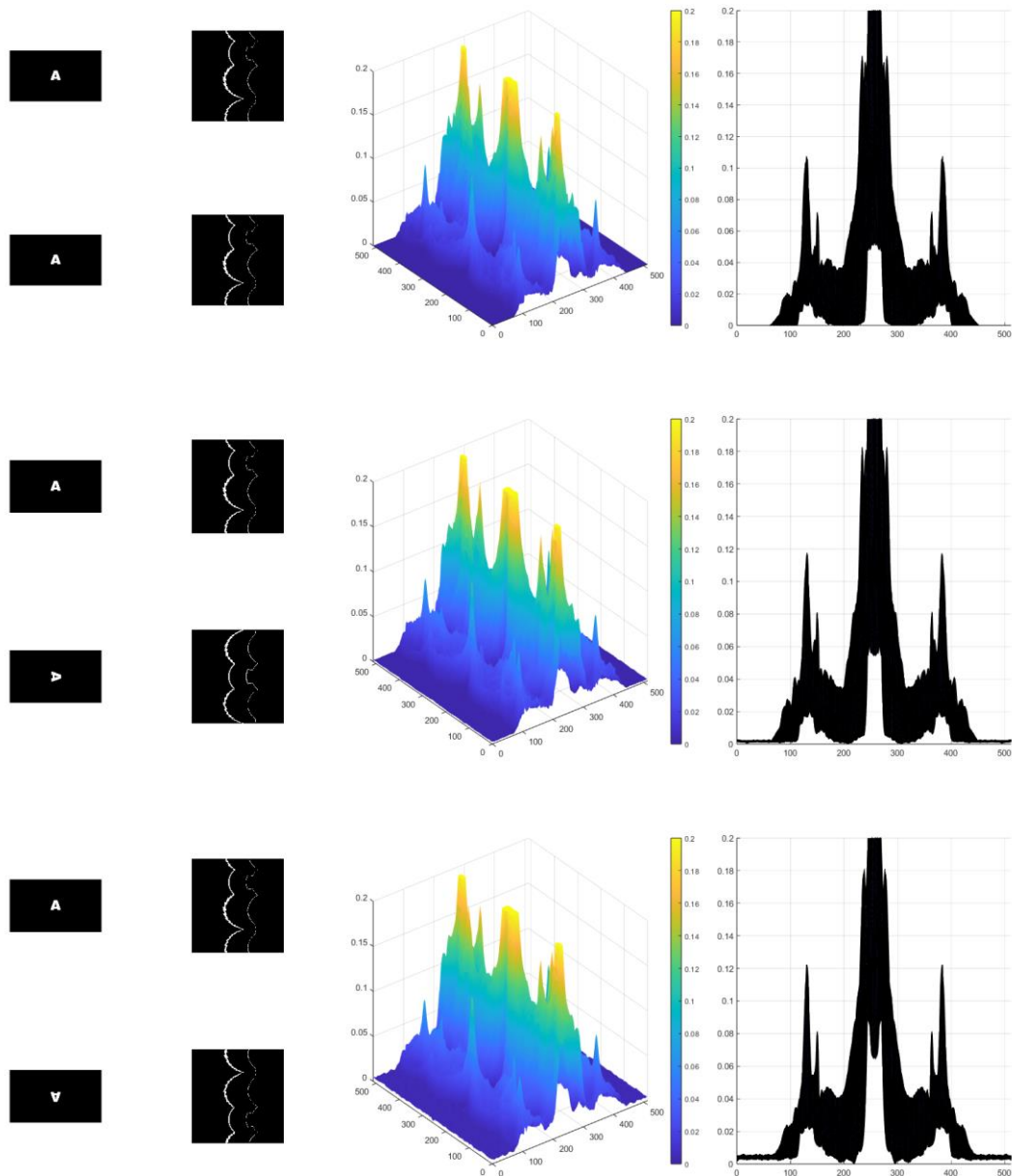


Рис. 2а. Распознавание при условии поворота одного из двух совпадающих входных изображений на 0, 90, 180 градусов. Для каждого из трех изображений, слева направо: пара входных изображений (опорное, распознаваемое); пара входных изображений, подвергнутых предварительной частотной и лог-полярной обработке; трехмерная корреляция на выходе КСП; двухмерная проекция корреляции на выходе КСП, ось абсцисс совпадает с ближней правой осью на трехмерном графике

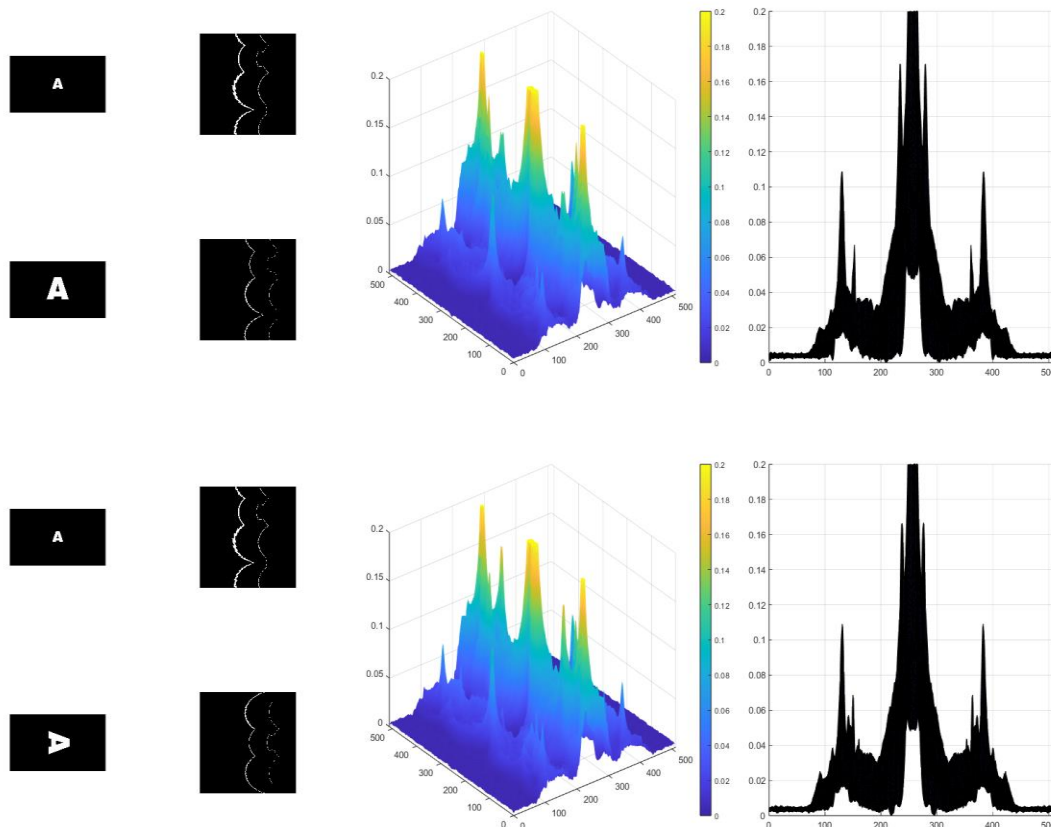


Рис. 26. Распознавание при условии масштабирования одного из двух совпадающих входных изображений и его последующего поворота на 0, 90 градусов

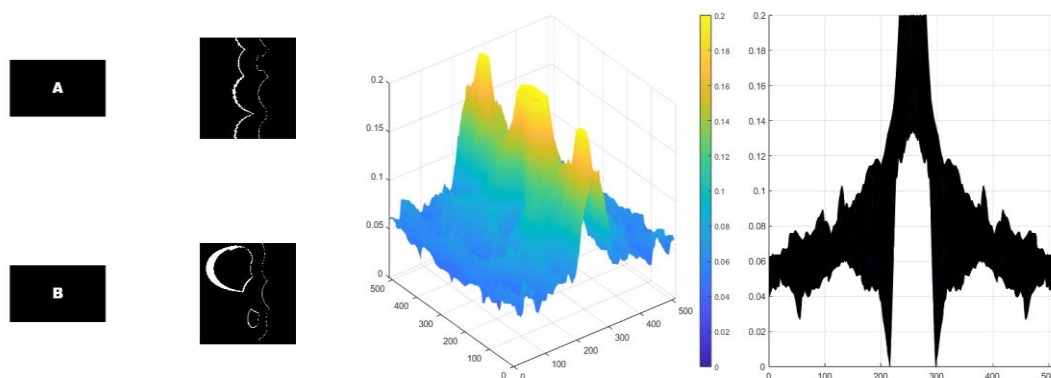


Рис. 27. Распознавание несовпадающих изображений

В рамках данной работы предприняты первые шаги в практической реализации данного механизма для дальнейшей его доводки, исправления ошибок, и выявления слабых мест. Реализована математическая модель, производящая лог-полярное преобразование, и дальнейшее преобразование Меллина над полученным изображением (рис. 2).

Поворот входного изображения отражается на лог-полярном преобразовании как смещение вдоль оси угловой координаты; если в случае с классическим КСП, как видно из рис. 1а, такой поворот означает потерю корреляционных пиков, то модифицированный КСП (рис. 2а) сохраняет отчетливые пики независимо от угла.

Масштабирование входного изображения отражается на лог-полярном преобразовании как смещение вдоль оси радиальной координаты; если в случае с классическим КСП, как видно из рис. 1б, такое искажение означает потерю корреляционных пиков, то модифицированный КСП (рис. 2б) сохраняет отчетливые пики независимо от коэффициента масштабирования, или даже комбинации искажений. При этом как видно из рис. 2в, при сравнении несовпадающих изображений корреляционных пиков не наблюдается.

По итогам проведенного исследования можно заключить, что использовать преобразование Меллина в связке с лог-полярным преобразованием для повышения инвариантности КСП к повороту и масштабированию входного изображения целесообразно.

Список используемых источников

1. Alam M. S. Fractional power fringe-adjusted joint transform correlation [Article] // Optical Engineering. 1995. Vol. 34 Iss. 11. PP. 3208–3216. DOI: 10.1117/12.213593
2. Ambs P. Optical Computing: A 60-Year Adventure // Advances in Optical Technologies. 2010. DOI: 10.1155/2010/372652
3. Chen X.-W., Karim M. A., Alam M. S. Distortion-invariant fractional power fringe-adjusted joint transform correlation // Optical Engineers. 1998. Vol. 37. Iss. 1. PP. 138–143.
4. Valmitjana S. Carnicer A., Martín-Badosa E., Juvells I. Nonlinear filtering in object and fourier space in a joint transform optical correlator: comparison and experimental realisation // Applied Optics. 1995. Vol. 34. Iss. 20. PP. 3942–3949. DOI: 10.1364/AO.34.003942
5. Рогов С. А. Основы оптоинформатики. Оптические методы и устройства обработки информации: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2017. 62 с.

Статья представлена научным руководителем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры ОКСС СПбГУТ С. А. Роговым.

УДК 535.14

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТАК НА ПРОТОКОЛ BB84 И АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ

Н. С. Васильев (студент группы МФИ-2551, СПбГУТ), vasiljev.ns@sut.ru
В. Г. Нестеров (студент группы ИКТФ-46м, СПбГУТ)
М. В. Пелевкин (студент группы МФИ-2551, СПбГУТ)

Работа посвящена оценке вероятности обнаружения атак на протокол квантовой криптографии BB84. Проведено численное моделирование на языке Python для наглядности представления результатов. Проведен сравнительный анализ вероятности обнаружения атак при разных стратегиях перехвата и длинах ключа. Проведен сравнительный анализ протоколов BB84 и BB84 decoy state при атаке с разделением числа фотонов PNS (Photon-Number-Splitting).

квантовое распределение ключей (КРК), BB84, decoy state, квантовые коммуникации, квантовая криптография, информационная безопасность

NUMERICAL SIMULATION OF ATTACKS ON THE BB84 PROTOCOL AND ANALYSIS OF THEIR DETECTION RATE

Vasilev N., Nesterov V., Pelevkin M.
 The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This work is devoted to assessing the probability of detecting attacks on the BB84 quantum cryptography protocol. Numerical modeling is carried out in Python to visually present the results. A comparative analysis of the attack detection probability is performed for different interception strategies and key lengths. A comparative analysis of the BB84 protocol and the BB84 decoy-state protocol is carried out under a photon-number-splitting (PNS) attack.

Key words: quantum key distribution (QKD), BB84, decoy state, quantum communications, quantum cryptography, and information security

С развитием квантовых технологий, в частности квантового компьютера, возникает потребность в новых подходах к защите информации. Традиционные криптографические методы, такие как *RSA* (криптографический алгоритм с открытым ключом), основаны на вычислительной сложности задачи факторизации больших чисел, могут быть взломаны за время примерно равное скорости шифрования с помощью квантового алгоритма факторизации чисел (алгоритм Шора). Связи с этим возникает потребность в методах шифрования устойчивых к квантовым алгоритмам взлома. Наиболее рас-

пространенным и исследованным протоколом квантовой криптографии является BB84, безопасность которого основана на принципе неопределенности Гейзенберга и теореме о запрете клонирования [1].

BB84 имеет множество реализаций, например с поляризационным кодированием, фазовым кодированием, а так же фазовым кодированием с применением технологии DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) и т.д. [2]. Наиболее распространенным является поляризационное кодирование, алгоритм реализации которого представлен на рис. 1. И заключается в следующем: Передатчик (Алиса) с помощью генератора случайных чисел (например, квантового генератора случайных чисел (КГСЧ) на измерении суперпозиционного состояния фотона [1]) формирует случайную последовательность информационных бит. Параллельно генерируется вторая случайная последовательность, которая будет соответствовать выбору базиса поляризации фотона. Следующим шагом Алиса передает по квантовому каналу связи одиночные фотоны, в которых информация кодируется в состоянии их поляризации.

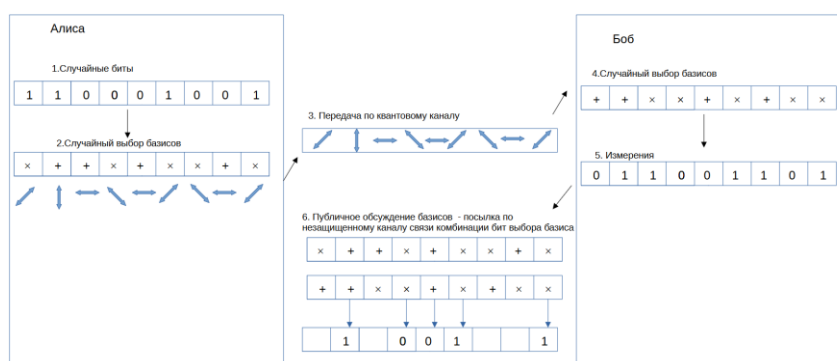


Рис. 1. Протокол BB84

На приемной стороне (Боб) так же случайно выбирает базисы, в которых будет проводить измерения. После проведения измерений Бобом, он связывается с Алисой по любому доступному каналу связи, они производят по битовое сравнение базисов, в итоговый просеянный ключ записываются биты, полученные при совпадении базисов (10011). При наличии потерь в канале связи непринятые биты исключаются из рассмотрения.

Завершающий шагом является открытие случайных бит просеянного ключа, для оценки уровня ошибок QBER (Quantum Bit Error Rate).

$$QBER = \frac{N}{M} \cdot 100\%,$$

где N – количество ошибок в просеянном ключе, M – общая длина ключа.

Если уровень ошибок превышает порог 11 %, канал считается скомпрометированным [1, 2].

Моделирование протокола BB84 на языке программирования Python проводилось для двух случаев: при отсутствии злоумышленника и при наличии перехватывающего участника (Ева). При моделировании учитывались ошибки, возникающие вследствие деполяризации состояний фотонов при их распространении по оптическому волокну (ОВ) [3, 4], а также шумы квантового канала и фотоприемных устройств (ФПУ). Результат моделирования представлен на рис. 2а.

Генерация случайных последовательностей бит и базисов осуществлялась с использованием псевдослучайного генератора чисел, реализованного в библиотеке NumPy. Предполагалось, что суммарная вероятность ошибки, обусловленная деполяризацией фотонов в оптическом волокне, квантовым шумом канала и шумами ФПУ, составляет 5 %. Зависимость QBER от шума канала представлена на рис. 2б.

Следует отметить, что при небольшом количестве переданных фотонов $U < 1000$ значение QBER даже при отсутствии злоумышленника может превышать пороговое значение 11 % вследствие статистических флуктуаций (рис. 2в). В связи с этим для корректной оценки характеристик протокола моделирование проводилось при количестве переданных фотонов $U \Rightarrow 1000$.

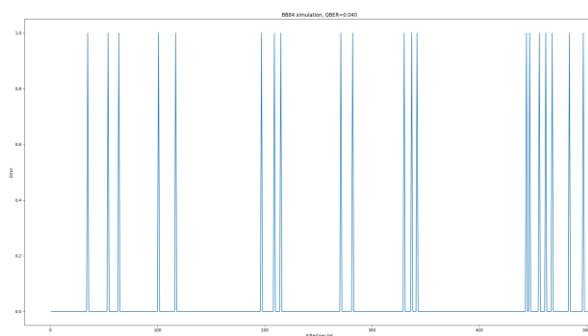


Рис. 2а. Количество ошибок в просеянном ключе

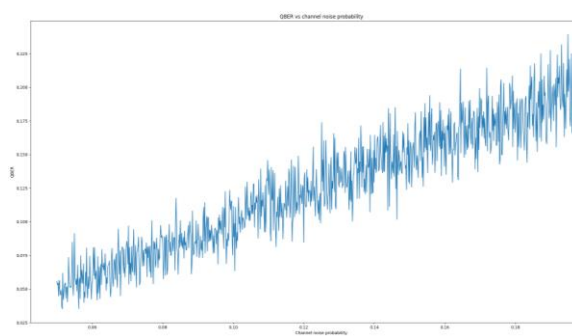


Рис. 2б. Зависимость QBER от шума канала

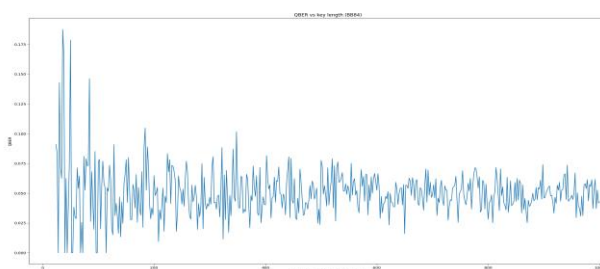


Рис. 2в. Зависимость QBER от длины ключа

В итоге без наличия злоумышленника величина QBER стремится к величине равной вероятности ошибки, связанной с шумом канала.

Протокол BB84 с злоумышленником (Ева) и ошибками в канале представлен на рис. 3.

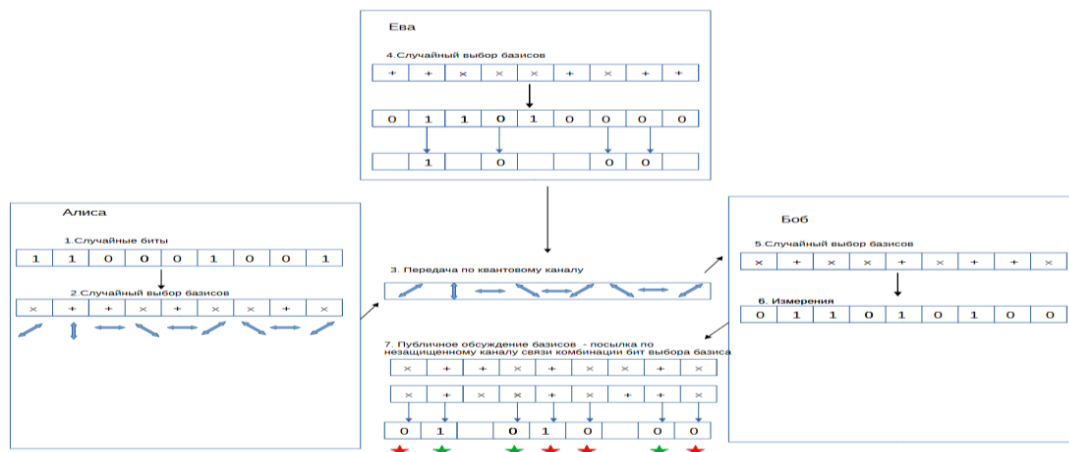


Рис. 3. Протокол BB84 с Евой

На рис. 4а представлен результат сравнительного анализа QBER протокола BB84 с отсутствием и присутствием Евы.

Так как действия Евы аналогичны действиям Боба, ее вмешательство разрушает исходное квантовое состояние фотонов и вносит дополнительные ошибки в квантовый канал. В протоколе BB84 при естественных ошибках канала уровень QBER обычно не превышает 11 %, что позволяет безопасно генерировать ключ. При попытке атаки перехват-пересылка QBER резко возрастает, достигая примерно 25 %, что позволяет сторонам выявить присутствие злоумышленника и прервать процесс генерации ключа. Благодаря этой особенности BB84 является надежным протоколом КРК.

Проведем моделирование ситуации, когда Ева перехватывает не все фотоны, а только некоторые (рис. 4б).

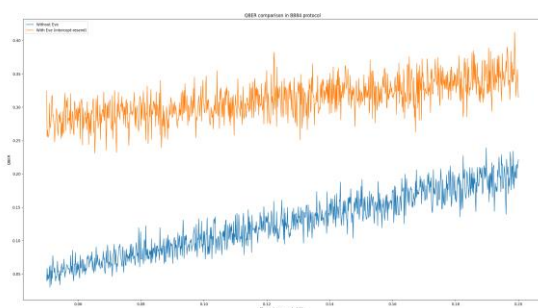


Рис. 4а. Зависимость QBER от шума в канале и наличия/отсутствия Евы

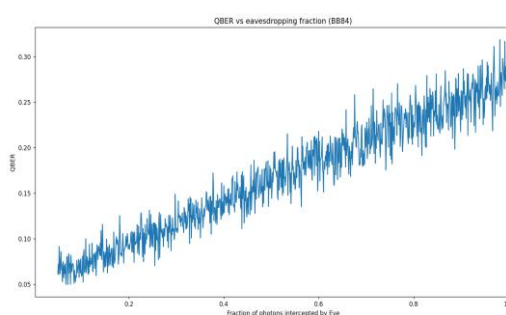


Рис. 4б. зависимость QBER от процента перехваченных фотонов Евой

График показывает, что при перехвате примерно 20 % фотонов Ева может оставаться незамеченной.

В практических реализациях протокола BB84 вместо идеальных одиночных фотонов часто используют источники с ослабленным излучением, выдающие в среднем менее одного фотона на импульс. При этом иногда формируются импульсы с двумя и более фотонами, что создает потенциальную угрозу: злоумышленник с квантовой памятью может перехватить один фотон и измерить его позже в нужном базисе (*PNS*-атака). Для защиты от подобных атак применяются *decoy states* – импульсы ловушки, позволяющие оценить вероятность перехвата и обнаружить попытки вмешательства. Использование *decoy states* значительно повышает безопасность протокола и обеспечивает надежную генерацию ключей в реальных системах квантовой криптографии.

Протокол BB84 Decoy State упрощенно можно представить так: Алиса имеет два источника фотонов S и S' , где S – источник который старается посылать 1 фотон, S' – источник который выдает всегда больше 1-го фотона, случайным образом Алиса выбирает какой источник использовать, все остальные действия стандартные для протокола BB84. Действия Евы при атаке *PNS* сводятся к тому, что она ловит многофотонные импульсы, сохраняет себе 1 фотон (например, в кольцевые ловушки) и отправляет остальные фотоны дальше к Бобу, оказываясь незамеченной, импульсы же с одним фотоном оказываются уничтожены Евой. При последующей классической сверке Алиса сообщает Бобу позиции битов, отправленных с использованием однофотонного источника S . Если количество дошедших фотонов из источника S намного меньше, чем из S' , то канал скомпрометирован. Если количество фотонов S примерно равно S' , то канал чист. Результат моделирования приведен на рис. 5а, б. Более совершенная версия протокола предполагает использование импульсов случайной интенсивности, зачастую среднее число фотонов в состояниях-ловушках меньше, чем в основном или не содержит фотонов вовсе [2].

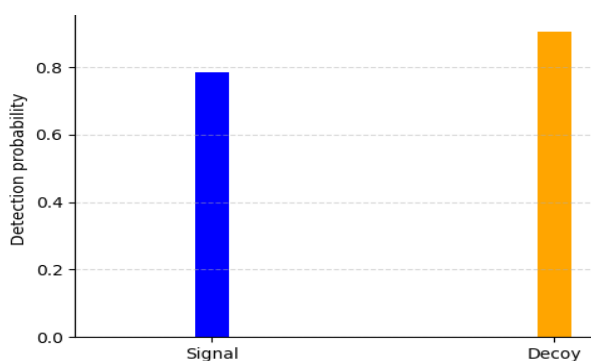


Рис. 5а. Отсутствие Евы

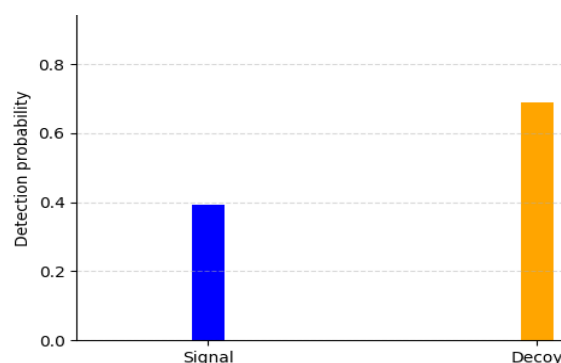


Рис. 5б. Присутствие Евы

Итогом работы является подтверждение превосходства протокола BB84 Decoy State для задач КРК, однако данный протокол уязвим к атакам с расщеплением когерентных информационных состояний светоделителем [2, 5], исследования будут продолжены.

Список используемых источников

1. Былина М. С., Андрюнин А. И., Фраз А. В. Квантовые коммуникации. Ч. 1. СПб.: СПбГУТ, 2022.
2. Андрущенко А. С., Борисова А. В., Елисеев В. Л., Жилиев А. Е., Иванов О. А. и др. Прикладные квантовые технологии для защиты информации. М.: Горячая линия-Телеком, 2024. 152 с.
3. Бойко А. П., Кузин П. И., Кузина Е. И., Шевченко А. А. Способ обеспечения оптимизации выделенного спектрального ресурса при построении оптических транспортных сетей // Телекоммуникации. 2025. № 12. С. 11–17. DOI: 10.31044/1684-2588-2025-0-12-11-17. EDN: NEENQN.
4. Бойко А. П., Шевченко А. А., Кузин П. И. Модель оптической транспортной сети специального назначения в условиях деструктивных воздействий // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2025. Т. 22. № 1 (247). С. 42–50. DOI: 10.14489/vkit.2025.01.pp.042-050. EDN: SHMPZD.
5. Молотков С. Н., Кравцов К. С., Рыжкин М. И. Достаточно ли состояний ловушек (decoy-state метода) для гарантии секретности ключей в квантовой криптографии? // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2019. Т. 155. № 4. С. 636–644. DOI: 10.1134/S0044451019040060.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры ОКСС СПбГУТ С. Ф. Глаголевым.

УДК 681.518.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА КОДИРОВАНИЯ УРОВНЕЙ ЯРКОСТИ 8-БИТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ НА ВЕЛИЧИНУ ИСКАЖЕНИЙ ПРИ ОДИНОЧНЫХ БИТОВЫХ ОШИБКАХ

М. В. Васьковский (аспирант кафедры И4 БГТУ «ВОЕНМЕХ»),
vaskovskii_mv@voenmeh.ru

Ю. В. Петров (к.т.н., доцент, доцент кафедры И4 БГТУ «ВОЕНМЕХ»)

В работе исследуется влияние способа кодирования уровней яркости изображений на величину искажений при передаче по цифровому каналу связи с одиночными битовыми ошибками. Анализ проводится для 8-битных изображений, что соответствует реальным условиям формирования и передачи цифровых изображений. Рассматриваются бинарный код и код Грея при различных законах распределения уровней яркости (равномерном, нормальном и распределении Рэлея). Оценка качества передачи осуществляется с использованием математического ожидания среднеквадратичного значения. Установлено, что бинарный код сохраняет инвариантность к параметрам распределения, тогда как код Грея демонстрирует выраженную зависимость от статистических свойств уровней яркости изображений и обеспечивает выигрыш при концентрированных симметричных распределениях. Полученные результаты позволяют определить область эффективного применения безызбыточных методов кодирования при передаче изображений в условиях ограниченных ресурсов канала связи.

бинарный код, код Грея, 8-битные изображения, распределение яркости, второй начальный момент ошибки, математическое ожидание среднеквадратичного значения, безызбыточное кодирование

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF 8-BIT IMAGE BRIGHTNESS LEVEL ENCODING METHODS (WITH VARYING DISTRIBUTIONS) ON DISTORTION MAGNITUDE CAUSED BY SINGLE-BIT ERRORS

Vaskovskyi M., Petrov Yu.

Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D. F. Ustinov

The paper examines how the method of encoding image brightness levels affects distortion when transmitting over a digital communication channel with single-bit errors. The analysis is conducted for 8-bit images, which reflects realistic conditions for the generation and transmission of digital images. Binary coding and Gray coding are considered under different brightness level distributions (uniform, normal, and Rayleigh distributions). Transmission quality is evaluated using the expected value of the root mean square (RMS). It is established that binary coding maintains invariance with respect to distribution parameters, whereas Gray coding shows a pronounced dependence on the statistical properties of image brightness levels and provides an advantage for concentrated symmetric distributions. The obtained results make it possible to determine the domain of effective application of non-redundant coding methods for image transmission under conditions of limited communication channel resources.

Key words: binary code, Gray's code, 8-bit images, brightness distribution, second initial moment of error, expected value root mean square, redundant encoding

Введение

В современных инфокоммуникационных системах, включая системы на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), передача изображений является одной из ключевых задач, обеспечивающих выполнение функций мониторинга, навигации и кооперативного взаимодействия. В таких системах изображения, получаемые бортовыми сенсорами, передаются по радиоканалам, характеризующимся ограниченной пропускной способностью и подверженностью помехам [1].

Основным видом искажений в цифровых каналах связи являются битовые ошибки, возникающие под воздействием шума, интерференции и других дестабилизирующих факторов. Классические подходы к повышению достоверности передачи основаны на применении помехоустойчивого кодирования, предполагающего введение избыточности. Однако это приводит к снижению эффективной скорости передачи, что особенно критично для систем с ограниченными ресурсами канала связи [2].

В связи с этим актуальной является задача повышения качества передачи информации без увеличения объема передаваемых данных, в частности за счет рационального выбора способа представления исходной информации. Для изображений такой возможностью является выбор метода кодирования уровней яркости.

Характерной особенностью изображений является неравномерное распределение уровней яркости, которое в зависимости от условий формирования может быть описано различными законами распределения, включая равномерное, нормальное и распределение Рэлея. Учет статистических свойств источника позволяет предположить, что выбор способа кодирования может оказывать существенное влияние на величину возникающих искажений при наличии ошибок передачи.

В данной работе проводится исследование влияния способа кодирования уровней яркости 8-битных изображений на качество их передачи в условиях одиночных битовых ошибок с учетом статистических свойств источника.

Целью работы является установление закономерностей влияния вида кодирования уровней яркости изображений с заданными распределениями на величину искажений при передаче по каналам связи.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: анализ статистических распределений уровней яркости изображений, моделирование канала связи с одиночными битовыми ошибками, исследование

влияния различных схем кодирования на величину искажений, а также сравнительный анализ полученных результатов с учетом увеличенной разрядности представления данных.

Методика эксперимента

Для количественной оценки влияния ошибок при передаче изображений используется второй начальный момент ошибки [3]. Он определяется как математическое ожидание квадрата случайной величины ошибки и дает представление о степени отклонения переданных данных от исходных и помогает анализировать эффективность применяемых методов кодирования.

Однако использование величины M_2 затрудняет интерпретацию результатов, поскольку она имеет размерность квадрата исходной величины. В связи с этим вводится нормированная характеристика – корень из второго начального момента (или среднеквадратическое значение, СКЗ). Данная величина имеет ту же размерность, что и уровни яркости (и их ошибки), и позволяет корректно сравнивать результаты при различных способах кодирования.

Для исследования влияния вида кодирования уровней яркости на качество передачи изображений использовалось аналитическое моделирование канала связи с контролируемым внесением ошибок. Алгоритм представлен на рисунке 1.

В рамках работы рассматривается дискретное множество значений ошибки, возникающих при передаче 8-битных кодовых слов при условии равновероятного появления как передаваемых значений яркости, так и позиций одиночной битовой ошибки. В этом случае оценка второго начального момента ошибки записывается в виде математического ожидания квадрата ошибки:

$$M_2 = E[\Delta_{\text{ош}}^2] = \frac{1}{2^n} \cdot \sum_{i=0}^{2^n-1} \left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n (\Delta_{\text{ош},i,j})^2 \right] \quad (1)$$

где n – количество разрядов в слове ($n = 8$), j – номер ошибочного разряда (от 1 до 8), $\Delta_{\text{ош},i,j}$ – значения ошибок, i – значение передаваемой информации (яркости) (от 0 до 255).

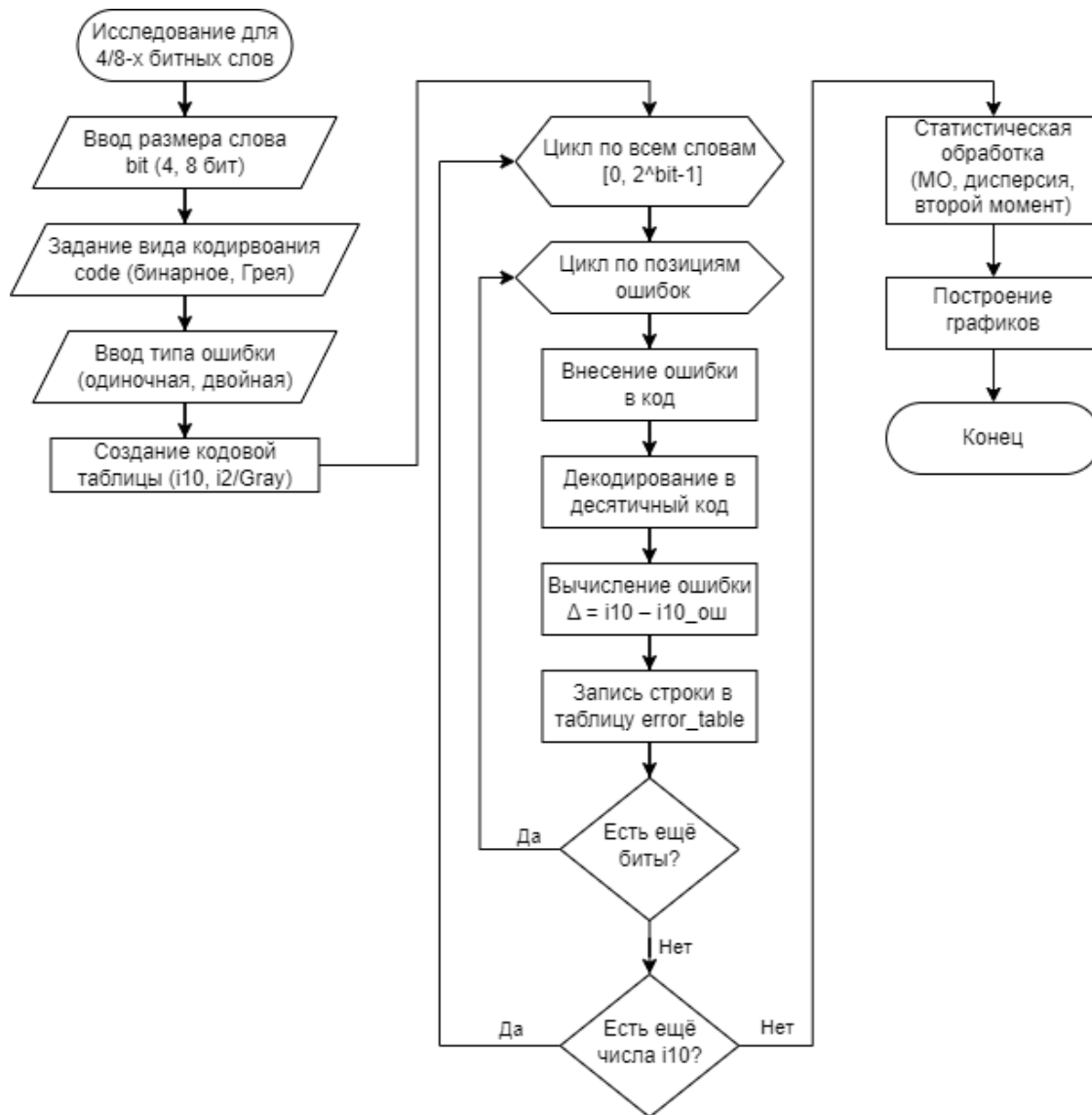


Рис. 1. Блок схема алгоритма моделирования ошибок

В случае неравномерного распределения вероятностей уровней яркости:

$$M_2 = \sum_{i=0}^{2^n-1} P(x_i) \cdot \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\Delta_{\text{ош},i,j})^2, \quad (2)$$

где $P(x_i)$ – вероятность появления соответствующего значения уровня яркости. Тогда среднеквадратическое значение ошибки при фиксированном значении передаваемой яркости x_i , усредненное по всем возможным позициям одиночной битовой ошибки определяется как:

$$\text{СКЗ}_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\Delta_{\text{ош},i,j})^2}. \quad (3)$$

Тогда среднее значение СКЗ определяется как:

$$MO_{СКЗ} = \sum_{i=1}^{2^p} P(x_i) \cdot СКЗ_i \quad (4)$$

Исследование влияния вида кодирования изображений с различными распределениями

Моделирование процесса передачи изображений выполнено в среде MATLAB для различных законов распределения уровней яркости: равномерного, нормального и распределения Рэля. Результаты представлены в таблицах 1-3.

В рамках исследования для фиксированной кодовой таблицы оценивалась зависимость $MO_{СКЗ}$ ошибки от вида распределения входных данных, что позволило определить чувствительность различных методов кодирования к статистическим свойствам источника.

1. Для равномерного распределения для бинарного кода $MO_{СКЗ} = 52,3$, а для кода Грея – $MO_{СКЗ} = 60,3$. Полученные результаты показывают, что при равномерном распределении бинарный код обеспечивает меньший уровень искажений по сравнению с кодом Грея.

2. Далее проведено исследование для нормального распределения значений уровней яркостей изображений с параметрами μ (математическое ожидание) и σ (среднеквадратическое отклонение). Результаты моделирования сведены в таблицы 1 (при фиксированном значении $\mu = 128$ и различных значениях σ) и 2 (при фиксированном значении $\sigma = 3$ и различных значениях μ). Результаты моделирования сведены в таблицы 1 и 1.

ТАБЛИЦА 1. Исследование для нормального распределения при $\mu = 128$

σ	10	20	30	40	50	60	70	78,5	80
Бинарный	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3
Грея	44,8	41,0	42,6	45,8	45,8	48,8	51,2	52,3	53,0

Анализ результатов исследований при фиксированном математическом ожидании, представленных в таблице 1, показывает, бинарный код инвариантен к изменению СКО. Для кода Грея $MO_{СКЗ}$ ниже, что указывает

на его преимущество. При увеличении СКО, $МО_{СКЗ}$ растет и при приближении к равномерному распределению становится сопоставимым с бинарным кодом, и при $\sigma > 78,5$ преимущество теряется.

ТАБЛИЦА 1. Исследование для нормального распределения при $\sigma = 30$

μ	30	68,7	130	140	160	186,2	200	255
Бинарный	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3
Грея	71,2	52,3	40,6	40,7	43,2	52,3	56,4	71,2

Анализ результатов исследований при фиксированной СКО показывает для кода Грея U-образный зависимость. При смещении распределения к границам диапазона значений преимущество переходит к бинарному коду. При приближении у центральной области $МО_{СКЗ}$ уменьшается, и заметен выигрыш у кода Грея при значениях μ от 68,7 до 186,6.

3. Далее проведено исследование для **рэлеевского распределения** значений уровней яркостей изображений (параметр распределения Релея σ_r). Результаты моделирования при различных значениях σ_r сведены в таблицу 3. Результаты моделирования сведены в таблицу 2.

ТАБЛИЦА 2. Исследование для распределения Рэлея

σ_r	10	20	40	60	66,92	80
Бинарный	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3
Грея	91,5	80,4	63,7	54,1	52,3	50,4

Анализ результатов исследований показывает, что бинарный код инвариантен к изменению параметра распределений. Для кода Грея характерно монотонное уменьшение исследуемого показателя. Это связано с уменьшением асимметрии распределения. Преимущества кода Грея только при $\sigma_r > 66,92$.

Заключение

Таким образом установлено, что бинарный код обладает инвариантностью по отношению к параметрам распределения значений уровней яркостей изображений, что обеспечивает стабильный уровень искажений при

различных распределениях и их параметров. Код Грея, напротив, демонстрирует чувствительность к форме распределения: его преимущество проявляется при концентрированных симметричных распределениях уровней яркости, когда значения преимущественно сосредоточены в центральной области диапазона уровней яркости.

Практически значимым результатом является установление области эффективности кода Грея: при нормальном распределении с параметрами $\mu = 130$ и $\sigma = 30$ достигается минимальный уровень искажений по сравнению с бинарным кодом.

В то же время для равномерного распределения и распределения Релея предпочтительным является использование бинарного кодирования, обеспечивающего меньший или сопоставимый уровень ошибок.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (НИР «Разработка и исследование методов управления группами автономных беспилотных летательных аппаратов на основе перспективных систем информационного обеспечения и взаимодействия между отдельными аппаратами в группе», FZWF-2024-0002).

Список используемых источников

1. Ding G., Wu Q., Zhang L., Lin Y., Tsiftsis T. A., Yao Y. D. An Amateur Drone Surveillance System Based on the Cognitive Internet of Things // IEEE Communications Magazine. 2018. Vol. 56. Iss. 1. PP. 29–35. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1700452.
2. Haykin S. Communication Systems. 5th ed. New York: Wiley, 2009. 936 p.
3. Рожков И. Т. Основы статистической радиофизики: учебное пособие / И. Т. Рожков; Яросл. гос. ун-т. Ярославль: ЯрГУ, 2007. Ч. 1. 104 с.

УДК 004.8:004.7

ОТ SMART CITY К CITIVERSE: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

А. Н. Волков (д.т.н., доцент кафедры СС и ПД, СПбГУТ), artem.nv@sut.ru
Д. В. Маршев (студент группы МТИ-2521, СПбГУТ), marшев.dv@sut.ru

В статье рассматривается Citiverse как новая концепция городского развития. Выявляются и систематизируются ее ключевые отличия от модели Smart City, основные технологические направления, а также обосновывается необходимость интеграции технологических, инфраструктурных решений и вопросов стандартизации для успешной реализации Citiverse.

умный город, ситиверс, цифровой двойник, 6G, агентный искусственный интеллект, МСЭ-Т, стандартизация

FROM SMART CITY TO CITIVERSE: TECHNOLOGICAL FUNDAMENTALS FOR THE TRANSFORMATION OF THE URBAN ENVIRONMENT

Volkov A., Marshev D.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article presents Citiverse as a new concept of urban development. It identifies and systematizes its key differences from the Smart City model, the main technological directions underlying this new paradigm, and substantiates the need to integrate technological and infrastructural solutions as well as standardization efforts for the successful implementation of Citiverse.

Key words: digital twin, 6G, agentic AI, ITU-T, 5GPPP, standardization

Введение

В рамках развития концепции «умного города» (Smart City) все большее внимание исследователей привлекает направление Citiverse, предлагающее создание новой городской среды, представленной синхронизированным физическим и виртуальным пространством в реальном времени [1]. Актуальность настоящего исследования определяется рядом факторов. Среди них можно выделить два наиболее значимых. Первый связан с растущим интересом международных организаций к вопросам стандартизации Citiverse. Так, Международный союз электросвязи (ITU-T) в рамках Focus Group on Metaverse (FG-MV) предложил в июне 2024 года трактовку Citiverse как «метавселенной для горо-

дов, ставящей во главу угла человекоориентированный подход и способствующей устойчивому развитию» [2]. Вторым фактором определяется стремительным развитием технологий сетей шестого поколения (6G), которые создают инфраструктурную основу для синхронизации физического и виртуального пространств. Развитие нормативной базы Citiverse не ограничивается деятельностью ITU-T. Анализ системы стандартов, проведенный экспертной группой StandICT.eu, показывает, что развитие Citiverse неразрывно связано с деятельностью по стандартизации в целом [3, с. 5]. Основные вызовы, такие как фрагментация данных, отсутствие совместимости и риски для приватности, находят свое отражение в разрабатываемых международных стандартах. Глобальные спецификации сетей 6G разрабатываются консорциумом 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Европейская исследовательская инициатива 5G PPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) в свою очередь представляет региональное видение архитектуры 6G, которое дополняет глобальный подход к стандартизации [4]. Наряду с развитием сетевой инфраструктуры, стремительный прогресс в области агентного искусственного интеллекта (agentic AI) открывает новые возможности для автономного управления городскими системами, что находит отражение в отраслевых документах GSMA [5, 6]. Цель настоящей работы заключается в выявлении и систематизации основных технологических драйверов формирования Citiverse как самостоятельного направления развития городских цифровых экосистем, а также в обосновании необходимости интеграции технологических, инфраструктурных и нормативных решений.

Научная новизна исследования состоит в комплексном анализе трех взаимосвязанных направлений, а именно инфраструктуры 6G, агентного искусственного интеллекта и международной стандартизации, как единого базиса для реализации Citiverse. В отличие от существующих работ, фокусирующихся на отдельных аспектах, таких как цифровые двойники [7] или только технологии метавселенной [8], предлагаемый подход рассматривает их в системной взаимосвязи. Дополнительным элементом новизны выступает разработка расширенной системы критериев для сравнительного анализа Smart City и Citiverse, позволяющей выявить не только технологические, но и философские, экономические и нормативные различия между двумя парадигмами.

Smart City и Citiverse: расширенный сравнительный анализ

Концепция «умного города» доминировала на протяжении последних двух десятилетий. Она строилась на сборе данных от разрозненных IoT-устройств, их централизованной обработке и принятии решений на основе

заранее заданных правил. Цифровое и физическое пространства существовали параллельно, а их взаимодействие ограничивалось передачей данных от сенсоров к аналитическим платформам. Citiverse предлагает принципиально иную модель. В ней осуществляется синхронизация виртуального и физического пространств в реальном времени, а цифровой двойник города становится не просто моделью для анализа, а активной средой, способной к автономному действию [1, 7]. Сравнительный анализ двух подходов [1, 3-8] позволяет выделить ключевые отличия по десяти критериям, охватывающим философские, технологические, экономические и нормативные аспекты. Таблица 1 показывает, что переход от Smart City к Citiverse требует не просто технологического обновления, а комплексной трансформации по всем указанным направлениям.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение Smart City и Citiverse

	Критерий	Smart City	Citiverse (новая парадигма)
1	Философия управления	Оптимизация отдельных процессов (транспорт, энергетика, ЖКХ)	Целостная синхронизация физического и цифрового пространств
2	Цифровой двойник	Статическая модель для анализа и прогнозирования	Динамическая, синхронизированная в реальном времени, активная среда
3	Сетевая инфраструктура	Сети 4G/5G как канал передачи данных	6G как «сеть сетей» с ISAC, CaaS, NTN
4	Искусственный интеллект	Инструмент анализа данных, принятие решений человеком	Агентный ИИ: автономные, целеориентированные, координирующиеся агенты
5	Вычислительная архитектура	Централизованные облачные вычисления	Иерархическое распределение (terminal-edge-cloud collaboration)
6	Идентичность гражданина	Пользователь городских сервисов, авторизация через платформы	Само-суверенная идентичность, цифровой кошелек как средство аутентификации (wallet as an identifier)
7	Экономическая модель	Оплата услуг, налоги, бюджетное финансирование	Экономика цифровых активов: NFT, криптовалюты, виртуальная недвижимость, краудфандинг
8	Участие граждан	Информирование, обратная связь, опросы	Со-создание (co-creation): граждане как разработчики, владельцы активов
9	Стандартизация	Фрагментированные стандарты по отраслям	Интегрированная стандартизация на уровне данных, протоколов, агентов (ITU-T, ISO/IEC, IEEE)
10	Безопасность и приватность	Централизованное управление доступом, риски утечек	Децентрализованная идентификация, деидентификация данных, федеративное машинное обучение

Технологические основы перехода к Citiverse

Инфраструктура 6G

Ключевыми инновациями, имеющими прямое значение для Citiverse, являются три концепции, каждая из которых решает определенные ограничения предшествующих поколений:

1) Интегрированные сенсоры и коммуникации (ISAC, Integrated Sensing and Communication) превращают сеть 6G в распределенный сенсор. В отличие от 4G и 5G, где сенсорные функции реализуются через отдельные IoT-устройства, сеть шестого поколения способна «ощущать» окружающую среду, используя те же радиосигналы [4, с. 35-37]. ISAC позволяет обнаруживать объекты и людей без носимых устройств, достигать точности локализации до 10 см для большинства городских приложений и до 1 мм для специализированных промышленных сценариев, а также создавать «облака точек» для цифровых двойников. Применительно к Citiverse это означает трансформацию подхода к сбору городских данных. Цифровой двойник города получает информацию не только от дискретных IoT-датчиков, но и от самой сети, что существенно расширяет «сенсорную насыщенность» городской среды и снижает стоимость развертывания сенсорной инфраструктуры.

2) Вычисления как сервис (CaaS, Compute as a Service) устраняют жесткую привязку вычислительных ресурсов к устройствам. Любое устройство может делегировать ресурсоемкие задачи, такие как рендеринг, симуляция или обучение моделей, в сеть [4, с. 21-22]. Для Citiverse CaaS открывает возможности инклюзивности, поскольку жители с недорогими устройствами могут участвовать в сложных иммерсивных симуляциях за счет выполнения «тяжелых» вычислений на стороне сети. Активно развиваются технологии динамических распределенных туманных вычислений, а также бессерверные архитектуры.

3) Концепция «сети сетей» (Network of Networks) исходит из того, что 6G будет интеграцией разнородных подсетей [4, с. 16-18]. К ним относятся наземные сети (TN, terrestrial networks), неназемные сети (NTN, non-terrestrial networks), кампусные и частные сети (campus/private networks), а также ячеистые сети (mesh networks) и прямого взаимодействия устройств (D2D, device-to-device). Такая архитектура обеспечивает повсеместный, отказоустойчивый доступ к Citiverse, что критически важно для городских сервисов, требующих непрерывной работы.

Агентный искусственный интеллект

Развитие генеративного искусственного интеллекта (ИИ) привело к формированию парадигмы агентного ИИ (agentic AI), представляющей собой системы, способные автономно действовать на основе заданных целей

[5, с. 2]. В отличие от традиционных систем ИИ, которые выполняют заранее определенные задачи, такие как классификация или прогнозирование, агентный ИИ обладает рядом ключевых характеристик. Так, ему свойственна целеориентированность (goal-oriented), позволяющая интерпретировать высокоуровневые цели (intents) и самостоятельно определять последовательность действий. Он способен к планированию, то есть может разбивать сложные задачи на подзадачи и выбирать оптимальные стратегии их выполнения. Агентный ИИ может использовать инструменты, вызывая API, обращаясь к базам знаний и взаимодействуя с другими агентами. Кроме того, ему свойственно обучение и адаптация на основе обратной связи [5, с. 2-4].

В контексте Citiverse городская цифровая среда будет населена множеством специализированных виртуальных агентов, включая агентов управления транспортом, энергосетями, экстренными службами, а также персональных агентов граждан. Эти агенты взаимодействуют друг с другом, координируют действия и адаптируются к изменяющимся условиям без постоянного вмешательства человека. На данный момент ряд концептуальных вопросов по сети агентов ИИ уже рассматриваются в исследовательских комиссиях ITU-T 20 и 21 (SG20, SG21).

Важной характеристикой агентных систем является распределенная архитектура, получившая название terminal-edge-cloud collaboration [6, с. 8-9]. Устройства (terminal) обеспечивают локальную обработку для критических операций с помощью технологий TinyML, что позволяет выполнять задачи даже при отсутствии сетевого соединения. Граничные (edge) узлы выполняют региональную координацию агентов, агрегируют данные с нескольких устройств и обеспечивают обработку с высокой пропускной способностью. Облако (cloud) предоставляет ресурсы для глобальной оптимизации, обучения больших моделей и хранения исторических данных. Такое распределение позволяет балансировать задержку, вычислительные ресурсы и энергопотребление, что критически важно для масштабируемости Citiverse.

Основные требования к агентным системам для Citiverse включают мультиагентность, обеспечивающую взаимодействие агентов разных типов и от разных поставщиков; коммуникацию с учетом требований к качеству обслуживания (QoS), позволяющую управлять задержкой и надежностью на уровне отдельных сообщений; семантическую согласованность, то есть единую интерпретацию концептов всеми агентами; управление и доверие, включающее регистрацию, аутентификацию и контроль доступа; а также защиту от угроз, таких как внедрение в промпт (prompt injection) и отравление модели (model poisoning) [5, с. 9-13, 15-16].

Международная стандартизация выступает интегрирующим механизмом, обеспечивающим совместимость, безопасность и масштабируемость экосистемы. Ключевую роль в этом процессе играют ITU-T (определения, глобальная инициатива, стандарты Y.4600, Y.4601, Y.4602), ISO/IEC JTC 1 (цифровые двойники, совместимость BIM/GIS) и IEEE (этические аспекты ИИ). Часть стандартов, в частности ISO/IEC 30188 и ISO/AWI 23143, находится в стадии разработки, что свидетельствует о продолжающейся работе по формированию нормативной базы Citiverse.

Заключение

Таким образом, переход к концепции Citiverse представляет собой сложный, многофакторный процесс и не является простым развитием модели «умный город». Это предполагает пересмотр сложившихся подходов к управлению городом, участию граждан и организации экономических отношений. Комплексный характер этих изменений требует выработки согласованных решений на международном уровне, включая гармонизацию технических спецификаций и нормативных актов. Разрабатываемые решения должны учитывать принцип инвариантности по отношению к поколению сетей. Часть упомянутых в статье технологий уже реализуется в сетях LTE и 5G, что позволит сформировать модель, в которой сервисы будут способствовать развитию инфраструктуры, включая сети 6G.

Список используемых источников

1. Anthopoulos L., Nikolaou I. Homogenizing Data Flows in Smart Cities: Value-driven use Cases in the Era of Citiverse // Companion Proceedings of the ACM Web Conference 2024. 2024. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1145/3589335.3651900>.
2. ITU. Definitions of CitiVerse: ITU Focus Group Technical Report FGMV-34. Geneva: International Telecommunication Union, 2024. 3 p.
3. Kung A., Myers J., Lahrin T. Landscape of CitiVerse Standards: Report of TWG CitiVerse. StandICT.eu, 2023. 178 p. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10262579>.
4. 5GPPP Architecture Working Group. The 6G Architecture Landscape: European perspective. Version 1.0. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7313232>.
5. GSMA. AI Agents and Agentic Protocols: 6G Community Whitepaper. London: GSMA, 2026. 26 p.
6. GSMA, GTI. Mobile AI: White Paper. London, 2026. 22 p.
7. Meng X., et al. Spatial data intelligence and city metaverse: A review // Fundamental Research. 2023. Vol. 5, N 5. P. 1169–1193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2023.10.014>.
8. Yaqoob I., et al. Metaverse applications in smart cities: Enabling technologies, opportunities, challenges, and future directions // Internet of Things. 2023. Vol. 23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100884>.

УДК 631.1.017

СЕТИ CAN И ИХ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

К. А. Воробьева (студент группы ИКТУ-34, СПбГУТ), vorobeva.ka@sut.ru
М. А. Маколкина (д.т.н., доцент, заведующий кафедрой ИКС, СПбГУТ)

Для организации информационного взаимодействия между устройствами умных автомобилей и других устройствах используется сеть множественного доступа Controller Area Network (CAN), которая использует дисциплину обслуживания с абсолютными приоритетами. В докладе рассматриваются стандарты CAN и строится математическая модель, позволяющая оценить среднее время доставки сообщений между взаимодействующими устройствами с учетом расстояний между ними.

шина CAN, математическая модель, вероятностно-временные характеристики, абсолютный приоритет

CAN NETWORKS AND THEIR TIME-VARYING PROBABILITIES

Vorobeva K., Makolkina M.
 The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

To organize information interaction between smart car devices and other devices, a Controller Area Network (CAN) multiple access network is used, which uses a service discipline with absolute priorities. The report discusses CAN standards and constructs a mathematical model that allows to estimate the average delivery time of messages between interacting devices, taking into account the distances between them.

Key words: CAN bus, mathematical model, probabilistic-time characteristics, absolute priority

Сеть CAN используется для информационного взаимодействия датчиков с исполнительными механизмами во многих приложениях. Для определенности в этой работе будем рассматривать умный автомобиль, который можно представить как умный компьютер на колесах, который упрощает и делает комфортным поездки для водителей и их пассажиров.

Информацию о состоянии транспортного средства собирают датчики, подключенные к шине, и подразделяются на три вида: датчики системы безопасности (радары, ультразвуковые датчики, лидары); датчики системы навигации (GPS-датчики, акселерометры, датчики скорости); датчики управления (датчики скорости колес, датчик положения руля, камеры) [1].

Датчиками управляет электронный блок управления, который обрабатывает сигналы от датчиков и отправляет соответствующие команды исполнительным устройствам. Современные технические комплексы становятся все более насыщенными распределенными вычислительными компонентами. Именно поэтому встает задача выбора сети, обеспечивающей гарантированное время доставки данных.

Шина CAN (Controller Area Network) – один из самых распространенных промышленных и автомобильных интерфейсов связи в этих условиях. Его цель – сократить количество проводов в сложных системах. CAN – двухпроводной дифференциальный последовательный полудуплексный интерфейс. Стандарт охватывает два нижних уровня модели OSI: физический и канальный [2].

Физический уровень интерфейса CAN поддерживает до 127 устройств и построен на экранированной витой паре, что обеспечивает высокую помехозащищенность. Скорость передачи данных зависит от длины шины: 5 км – до 10 кбит/с, 40 метров – до 1 Мбит/с.

Канальный уровень организует данные в пакеты (кадры). Каждый пакет содержит идентификатор (ID), служебную информацию и поле данных размером до 8 байт. В CAN используется принцип широковещательной передачи – узлы постоянно отправляют свои сообщения в шину, а получатели выбирают нужные по идентификатору.

Одна из особенностей CAN – алгоритм арбитража с абсолютным приоритетом. Если два узла начинают передачу одновременно, побеждает сообщение с меньшим числовым ID (более высоким приоритетом). Идентификатор одновременно определяет содержание сообщения и приоритет устройства в сети.

Для многих практических приложений, в которых используется сеть CAN, первостепенное значение имеет задержка, которая возникает при передаче данных от источника нагрузки к контроллеру. Построим модель, которая позволяет аналитически определить и оценить эти задержки [3, с.73], для этого используем известный результат для системы массового обслуживания (СМО) с абсолютными приоритетами (АП):

$$w_k^{\text{АП}} = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i b_i (1 + v_{b_i}^2)}{2(1 - R_{k-1})(1 - R_k)} + \frac{R_{k-1} b_k}{1 - R_{k-1}}, (k = 1, \dots, H)$$

где k – номер приоритета кадра, $w_k^{\text{АП}}$ – среднее время ожидания кадров приоритета k , R_{k-1} и R_k – суммарные загрузки, создаваемые кадрами, которые

имеют приоритет не ниже $(k - 1)$ и k соответственно, H – общее количество приоритетов, λ_i – интенсивность потока кадров класса i (кадров в секунду), b_i – средняя длительность обслуживания кадров приоритета i (с), v_{b_i} – коэффициент вариации длительности обслуживания кадров класса i , R – общая загрузка системы.

Предположим, для упрощения, что средняя длительность обслуживания кадров всех приоритетов равны, то есть:

$$b_i = b = \frac{K}{V}, i = 1, \dots, H$$

где K – длина одного кадра, одинаковая для кадров всех приоритетов, V – скорость шины CAN.

Построим графики зависимости $w_k^{\text{АП}}$ среднего времени ожидания от скорости шины V .

Исходные данные:

$H = 100$; $\lambda_i = 10$ кадров/с; $K = 131$ бит

$V = \text{меняем от } 100 \text{ кбит/с до мегабит/с}$; $i = 1, 50, 100$

При условии, что

$$R = \frac{H * \lambda_i * K}{V} < 1.$$

Результаты расчетов приведены на рисунке 1.

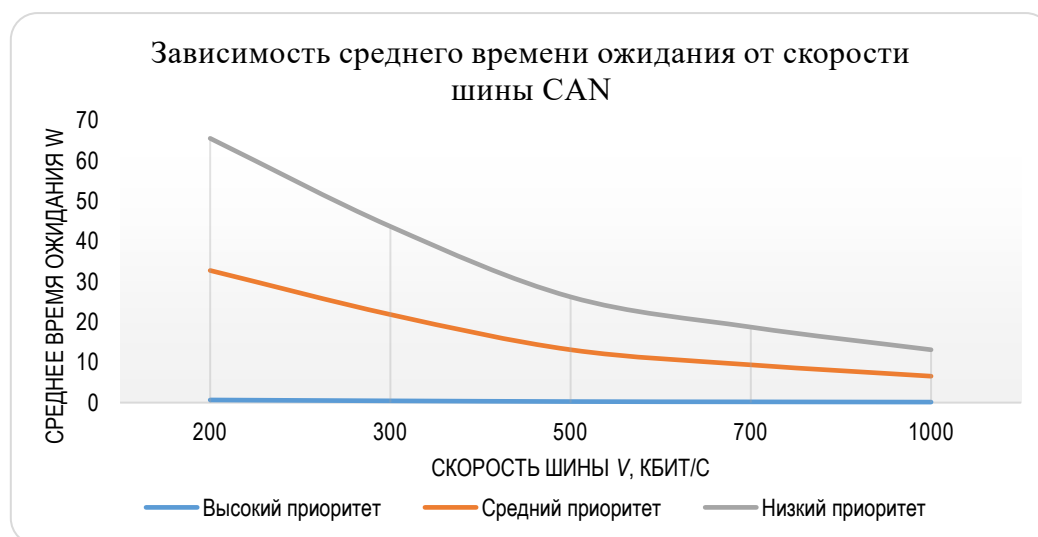


Рис. 1. Зависимость среднего времени ожидания сообщений $w_k^{\text{АП}}$ высокого, среднего и низкого приоритетов от скорости шины V

Вывод: Построение графика для нескольких уровней приоритета показало, что увеличение скорости шины приводит к снижению задержек передачи, так как уменьшается время обслуживания и общая загрузка системы. При этом механизм абсолютных приоритетов обеспечивает преимущественное обслуживание сообщений высокого приоритета, в то время как сообщения с меньшим приоритетом испытывают большие задержки.

Список используемых источников

1. Интеллектуальные автомобильные ассистенты и датчики: функций больше железа меньше // kit-e.ru. URL: <https://kit-e.ru/intellektualnye-avtomobilnye-assistenty-i-datchiki-funkczij-bolshe-zheleza-menshe/?ysclid=ml3z1y3nlg273080563> (дата обращения: 01.02.2026).
2. CAN-шина (Теория) // Habr.com. URL: <https://habr.com/ru/articles/939978/> (дата обращения: 01.02.2026).
3. Кожанов Ю. Ф. Аналитические модели теории телетрафика / Ю. Ф. Кожанов. 2-е изд., испр: Лань, 2025. 204 с.

Статья представлена научным руководителем, заведующим кафедрой ИКС СПбГУТ, доктором технических наук, доцентом М. А. Маколкиной.

УДК 004.77

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАЦИЕНТОВ НА БАЗЕ PRIVATE LTE

А. Б. Гольдштейн (д.т.н., профессор кафедры ИКС СПбГУТ)

В. Д. Новожилова (студент группы МСУ-2591 СПбГУТ),

novozhilova.vd@sut.ru

В условиях цифровизации здравоохранения особую актуальность приобретает создание интеллектуальных медицинских систем, обеспечивающих непрерывный сбор и обработку данных с носимых устройств пациентов. В работе рассматривается пример архитектуры такой системы, функционирующей на базе выделенной сети Private LTE. Предложенный подход позволяет обеспечить надежную и защищенную передачу медицинских данных в реальном времени, а также повысить эффективность мониторинга состояния пациентов.

телемедицина, Private LTE, интернет вещей (IoT), интеллектуальные системы, обработка данных в реальном времени

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT PATIENT MONITORING SYSTEM BASED ON PRIVATE LTE

Goldshtein A., Novozhilova V.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

In the context of digitalization of healthcare, the creation of intelligent medical systems that ensure the continuous collection and processing of data from patients' wearable devices is becoming especially relevant. The paper examines an example of the architecture of such a system, operating on the basis of a dedicated Private LTE network. The proposed approach enables reliable and secure transmission of medical data in real time, as well as increased efficiency in patient monitoring.

Key words: telemedicine, Private LTE, Internet of Things (IoT), intelligent systems, real-time data processing

В последние годы наблюдается стремительное развитие телемедицины и технологий интернета вещей, применяемых в здравоохранении. Одним из направлений является создание интеллектуальных систем мониторинга пациентов, способных работать в режиме реального времени.

Телемедицина – это предоставление услуг здравоохранения в условиях, когда расстояние является критическим фактором, работниками здра-

воохранения, использующими информационно-коммуникационные технологии для обмена необходимой информацией в целях диагностики, лечения и профилактики заболеваний и травм, проведения исследований и оценок, а также для непрерывного образования медицинских работников в интересах улучшения здоровья населения и развития местных сообществ [1].

Private LTE (Private Long-Term Evolution, pLTE) – локальная сеть мобильной связи, которая разворачивается и управляется внутри организации или на территории конкретного объекта. В отличие от обычного LTE, предназначенного для широкого круга пользователей, pLTE не подсоединена к инфраструктуре общего пользования – все ее элементы находятся в закрытом доступе [2]. В отличие от публичных сетей, Private LTE обеспечивает:

- гарантированную пропускную способность;
- низкие задержки передачи данных;
- высокий уровень безопасности;
- независимость от внешних операторов связи.

Интеллектуальная медицинская система – это комплекс аппаратных и программных средств, обеспечивающих сбор, передачу, обработку и анализ медицинских данных с целью поддержки принятия решений.

В данной статье рассматривается пример интеллектуальной системы мониторинга пациентов, использующей инфраструктуру Private LTE. Для функционирования системы необходимо наличие следующих компонентов:

1. Умные медицинские устройства (датчики).

К данной категории относятся носимые устройства, измеряющие физиологические параметры пациента. Например: пульс, уровень кислорода в крови (SpO_2), артериальное давление, уровень глюкозы, температура тела и другие.

Устройства должны поддерживать передачу данных по беспроводным протоколам (например, LTE-M, NB-IoT или через шлюз).

2. Периферийный шлюз (Edge-устройство).

Шлюз выполняет следующие функции:

- агрегация данных с нескольких датчиков;
- предварительная обработка (фильтрация, нормализация);
- буферизация данных;
- передача данных в сеть Private LTE.

3. Сеть Private LTE.

Сеть Private LTE является ключевым элементом системы и обеспечивает устойчивую связь между устройствами и сервером, передачу данных

с минимальной задержкой, приоритизацию медицинского трафика и защищенные каналы связи (шифрование, SIM-аутентификация). Выбор Private LTE, а не публичных сетей (включая Wi-Fi и стандартный LTE), обусловлен двумя группами требований: безопасностью медицинских данных и гарантиями задержки передачи.

Медицинская информация относится к категории персональных данных высокой чувствительности согласно ФЗ-152. В Private LTE управление доступом осуществляется на уровне SIM-карт и локального HSS (Home Subscriber Server), что исключает несанкционированное подключение, трафик шифруется на уровне радиоканала (AES-128/256) и дополнительно может быть зашифрован на прикладном уровне, сеть физически отделена от интернета и публичной инфраструктуры оператора, что исключает утечки через «чужие» ядра сети.

Для медицинского мониторинга критичны не только средние, но и гарантированные (детерминированные) задержки. При возникновении тахикардии, гипоксии или остановке дыхания каждый десяток миллисекунд может иметь значение. В Private LTE сеть настраивается с выделением ресурсов QoS для медицинского трафика, что исключает конкуренцию с фоновыми данными, отсутствуют очереди и перегрузки, характерные для публичных сетей в часы пик, задержка «датчик – сервер» устойчиво составляет ≤ 20 мс, тогда как в публичном LTE она может нестабильно колебаться от 30 до 100+ мс, а в Wi-Fi – достигать 200–500 мс.

4. Сервер обработки данных.

Сервер выполняет прием потоковых данных, хранение (например, базы временных рядов), обработку в реальном времени, управление событиями и тревогами, интеграцию с медицинскими информационными системами.

5. Аналитический модуль (Нейронная сеть).

Нейронная сеть выполняет анализ отклонений от норм, выявляет критические состояния, формирует предупреждения и простую предиктивную аналитику (на основе правил и моделей). В данном случае можно использовать рекуррентную нейронную сеть с механизмом внимания (LSTM + Attention). Данная модель состоит из 5-ти слоев. Входной слой принимает окно данных и нормализует значения. LSTM – слой обрабатывает временную зависимость и выявляет тренды. Механизм внимания выделяет наиболее значимые моменты во временном ряду, после чего полносвязный слой объединяет признаки, формирует итоговое представление и передает их на выходной слой [3].

6. Интерфейс врача.

Представляет собой веб- или мобильное приложение, обеспечивающее:

- визуализацию данных пациента;
- просмотр истории показателей;
- получение уведомлений;
- поддержку принятия решений.

Структура системы представлена в виде многоуровневой архитектуры: «устройства – сеть – обработка – пользователь» (рисунок 1).

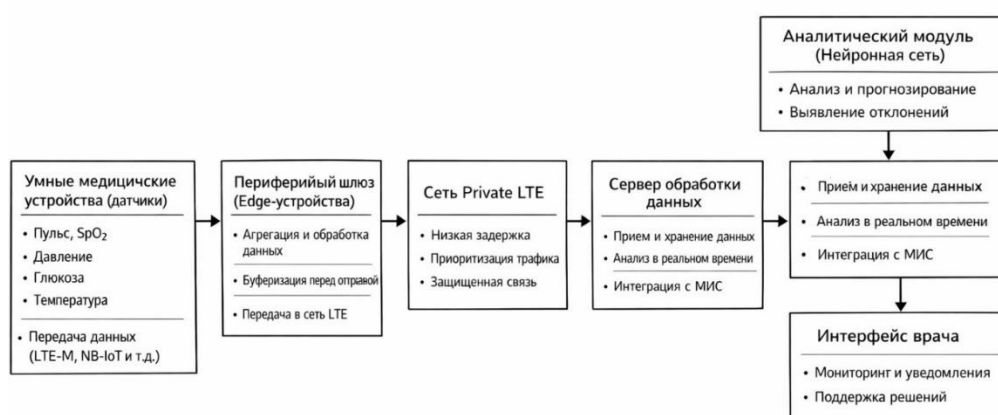


Рис. 1. Структура системы

Рассмотрим пример работы системы в реальном времени.

На первом этапе происходит сбор данных с носимых устройств. Например, датчик пульса фиксирует значения каждые 10 секунд (таблица 1).

ТАБЛИЦА 1. Входные данные

Время	Пульс (уд/мин)
10:00	72
10:00:10	75
10:00:20	110
...	...

Далее данные поступают на периферийный шлюз, где выполняется первичная обработка: удаление шумов, сглаживание значений, проверка корректности.

После этого данные передаются через сеть Private LTE на сервер. Благодаря выделенной инфраструктуре задержка передачи составляет минимальные значения (порядка десятков миллисекунд), что критично для медицинских приложений.

На сервере осуществляется потоковая обработка данных при помощи нейронной сети. Осуществляется сравнение с пороговыми значениями, анализ динамики изменений, выявление аномалий.

В нашем случае нейросеть выявит:

- резкое увеличение пульса с 75 до 110 уд/мин;
- отсутствие снижения показателя в течение заданного времени.

Система фиксирует событие и формирует уведомление:

«Пациент № 1223 – подозрение на тахикардию».

Далее информация поступает в интерфейс врача, представленный на рисунке 2, где отображается:

- график изменения параметров;
- текущий статус пациента;
- история событий.

При необходимости врач получает push-уведомление или SMS.

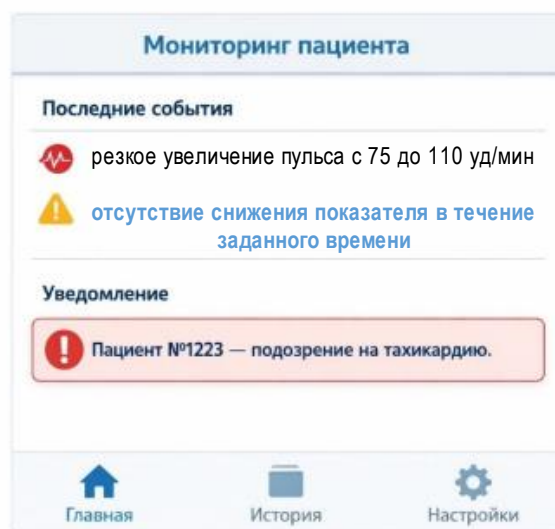


Рис. 2. Пример интерфейса

Таким образом обеспечивается непрерывный мониторинг состояния пациента в режиме реального времени.

Ключевым преимуществом предложенной системы является использование Private LTE, которое позволяет повысить надежность передачи данных, снизить задержки, обеспечить безопасность медицинской информации и масштабировать систему в рамках медицинского учреждения.

Таким образом разработанный пример интеллектуальной медицинской системы демонстрирует возможность эффективной организации мониторинга пациентов с использованием современных телекоммуникационных технологий. В дальнейшем возможно расширение функциональности системы за счет внедрения более сложных аналитических модулей и интеграции с внешними медицинскими сервисами.

Список используемых источников

1. Craig, J., & Patterson, V. (2005). Introduction to the practice of telemedicine // Journal of Telemedicine and Telecare 2005 11(1) С. 3–9. URL: https://www.researchgate.net/publication/7908096_Introduction_to_the_practice_of_telemedicine (дата обращения: 30.03.2026).
2. Носов Н. Частные сети LTE для российских предприятий // Экономика данных, ЦОДы, Облака. 2023. URL: <https://www.iksmedia.ru/articles/5952341-Chastnye-seti-LTE-dlya-rossijskix.html?ysclid=mnhivu9ufz153336229> (дата обращения: 30.03.2026).
3. Иванов Н. В. Нейронные сети в медицине // Сложные системы. 2018. № 4(29). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36761703> (дата обращения: 30.03.2026).

УДК 654.153

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТУННЕЛЯМИ MPLS-OVER-QUIC В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

А. Б. Гольдштейн (д.т.н., профессор кафедры ИКС СПбГУТ)

С. Р. Танашев (аспирант группы 2215А-23 СПбГУТ), tanashev_s@sut.ru

В статье рассматривается задача интеллектуального управления гибридными туннелями MPLS-over-QUIC в транспортных сетях Beyond 5G/6G. Предложена архитектура замкнутого контура управления, включающая гибридное прогнозирование сквозной задержки (аналитическая модель + LSTM) и выбор MPLS-пути на основе обучения с подкреплением. Временные параметры (такт управления 10–100 мс, среднее время обслуживания в узле 1 мс) заданы в соответствии с требованиями классов URLLC и eMBB. Гибридный прогноз снижает среднюю абсолютную ошибку на 73,6 % eMBB и 66,7 % URLLC. Агент PPO уменьшает долю нарушений SLA с 81 % (статическое управление) до 10 % для eMBB и с 15 % до 5 % для URLLC. Показана пригодность подхода для работы в реальном времени.

MPLS-over-QUIC, B5G/6G, гибридное прогнозирование, LSTM, обучение с подкреплением, PPO, URLLC

REAL-TIME INTELLIGENT MANAGEMENT OF MPLS-OVER-QUIC TUNNELS

Goldstein A., Tanashev S.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article addresses the challenge of intelligently managing hybrid MPLS-over-QUIC tunnels in Beyond 5G/6G transport networks. A closed-loop control architecture is proposed, incorporating hybrid end-to-end latency forecasting (combining an analytical model with LSTM) and MPLS path selection based on reinforcement learning. Timing parameters (a control interval of 10–100 ms and a mean node service time of 1 ms) are set in accordance with URLLC and eMBB class requirements. The hybrid forecasting method reduces the mean absolute error by 73.6% for eMBB and 66.7% for URLLC. The PPO agent reduces the SLA violation rate from 81% (under static management) to 10% for eMBB and from 15% to 5% for URLLC. The suitability of this approach for real-time operation is demonstrated.

Key words: MPLS-over-QUIC, B5G/6G, hybrid forecasting, LSTM, reinforcement learning, PPO, URLLC

Транспортные сети шестого поколения (6G) должны обеспечивать ультранизкие задержки (≤ 1 мс для URLLC, ≤ 10 мс для eMBB), высокую надежность и глубокую конвергенцию наземных (TN) и неназемных (NTN) сегментов, включая низкоорбитальные спутники LEO и высотные платформы

HAPS [1, 2, 3]. Классические технологии MPLS и SRv6 не в полной мере отвечают этим требованиям: MPLS не имеет встроенного шифрования и плохо адаптируется к динамике спутниковых каналов, а SRv6 создает высокие накладные расходы [4]. Гибридный подход MPLS-over-QUIC (MOQUIC) сочетает детерминированную маршрутизацию и Traffic Engineering (MPLS) с безопасностью, мультиплексированием и устойчивостью к потерям (QUIC) [5]. Однако практическое внедрение MOQUIC сдерживается отсутствием методов управления в реальном времени, учитывающих нестационарные эффекты NTN: хэндоверы, флуктуации задержки, переменную загрузку. Цель работы – разработка замкнутого контура управления туннелями MOQUIC на основе гибридного прогнозирования сквозной задержки (аналитическая модель + LSTM) и выбора MPLS-пути с помощью обучения с подкреплением (PPO)

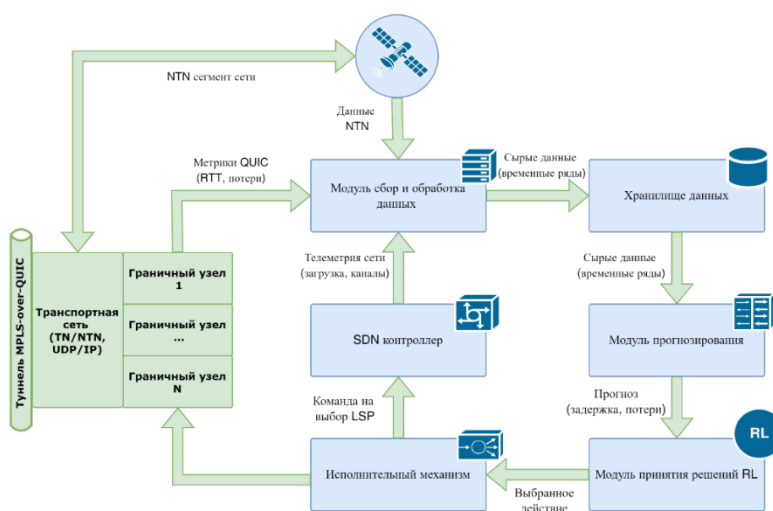


Рис. 1. Структура замкнутого контура управления туннелями MOQUIC

Предлагаемая архитектура (рис. 1) базируется на принципах программно-определяемых сетей (SDN) и включает следующие компоненты:

- граничные узлы MOQUIC – осуществляют инкапсуляцию/декапсуляцию MPLS-трафика в QUIC, экспортируют телеметрию (RTT, потери, джиттер, размер окна перегрузки);
- SDN-контроллер – поддерживает глобальную топологию TN/NTN, предварительно вычисляет множество MPLS-путей с параметрами загрузки;
- модуль сбора и предобработки данных – агрегирует метрики с периодом Δt ;
- модуль гибридного прогнозирования – строит прогноз сквозной задержки;

- RL-агент (PPO) – выбирает оптимальный MPLS-путь, максимизируя долгосрочную награду;
- исполнительный механизм – передает команды через SDN-контроллер.

Цикл управления повторяется с периодом Δt . Для eMBB $\Delta t = 100$ мс, для URLLC – 10 мс. Прогнозный горизонт составляет 200 мс и 20 мс соответственно.

Гибридное прогнозирование задержки

Аналитическая модель туннеля MOQUIC как каскада зависимых M/G/1-очередей с учетом сцепления и фрагментации пачек пакетов [5] дает среднюю сквозную задержку:

$$V(N) \cong \ln \left[(N-2)! \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right)^N \right] + N(1+\gamma), \quad (1.1)$$

где $\gamma \approx 0.577$ – постоянная Эйлера, N – число узлов, ρ – коэффициент загрузки. Однако аналитическая модель не учитывает быстрые флуктуации, вызванные хэндоверами, шумом и внутренними механизмами QUIC. Поэтому предложен гибридный прогноз:

$$\hat{d}_{\text{hybrid}}(t + \Delta t) = d_{\text{analyt}}(t + \Delta t) + \hat{\epsilon}(t + \Delta t), \quad (1.2)$$

где $\hat{\epsilon}(t + \Delta t)$ – предсказанный остаток, ϵ – предсказание LSTM, обученной на разности реальной и аналитической задержки. Вход LSTM: измеренная задержка d_{meas} , потери, джиттер, загрузка ρ за окно $W = 20$ шагов. Архитектура: два слоя (64 и 32 нейрона), выход – линейный.

Для обучения и валидации создана среда MOQUICTunnelEnv, генерирующая временные ряды задержки с добавлением гауссовского шума, марковских переключений ρ и эпизодических хэндоверов (каждые 10–20 с). Для eMBB сгенерировано 100 000 шагов ($\Delta t = 100$ мс), для URLLC – 100 000 шагов ($\Delta t = 10$ мс). Выборка разделена на обучающую (80 %) и валидационную (20 %). Результаты прогнозирования приведены в табл. 1. Гибридный прогноз снижает среднюю абсолютную ошибку (MAE) на 73,6 % для eMBB и на 66,7 % для URLLC.

Результаты прогнозирования представлены на рисунке 2. График ошибок показывает, что LSTM эффективно компенсирует нестационарные отклонения, возникающие при хэндоверах и скачках загрузки.

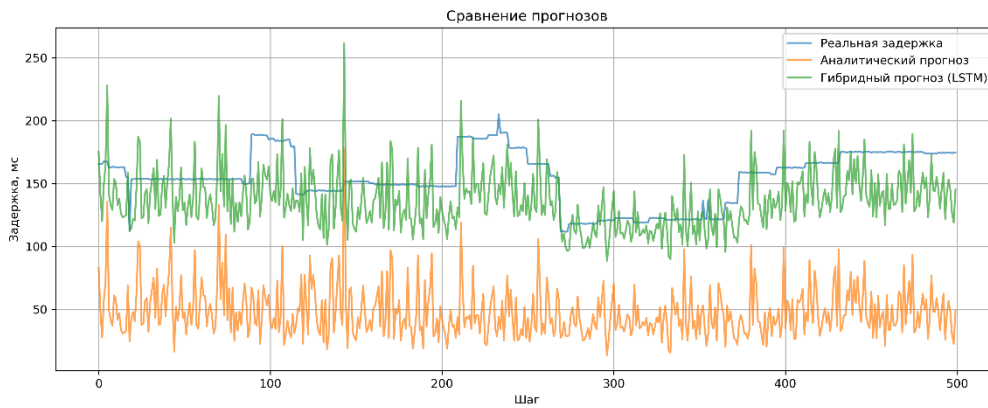


Рис. 2. Сравнение аналитического и гибридного прогнозов

Управление на основе обучения с подкреплением

Для выбора оптимального MPLS пути в туннеле MOQUIC предложено использование обучения с подкреплением (RL), которое позволяет агенту адаптироваться к изменяющимся условиям сети без необходимости явного моделирования всех зависимостей. В качестве алгоритма RL выбран PPO (Proximal Policy Optimization), широко применяемый в задачах дискретного управления.

Награда r_t определяется как

$$r_t = \begin{cases} 1, & \text{если } d_{\text{meas}} \leq D_{\text{target}}, \\ -d_{\text{meas}}/D_{\text{target}}, & \text{если } d_{\text{meas}} > D_{\text{target}}, \end{cases} \quad (1.3)$$

с дополнительным штрафом -0.5 при переключении пути. Целевая задержка D_{target} выбирается в соответствии с классом обслуживания (для eMBB $D_{\text{target}} = 10$ мс).

Результаты сравнения представлены на рисунке 3. Гибридный прогноз на основе LSTM снижает ошибку предсказания на 73,6 процента. RL-агент сокращает долю нарушений SLA с 81 до 10 процентов по сравнению со статическим управлением, демонстрируя проактивную и адаптивную политику.

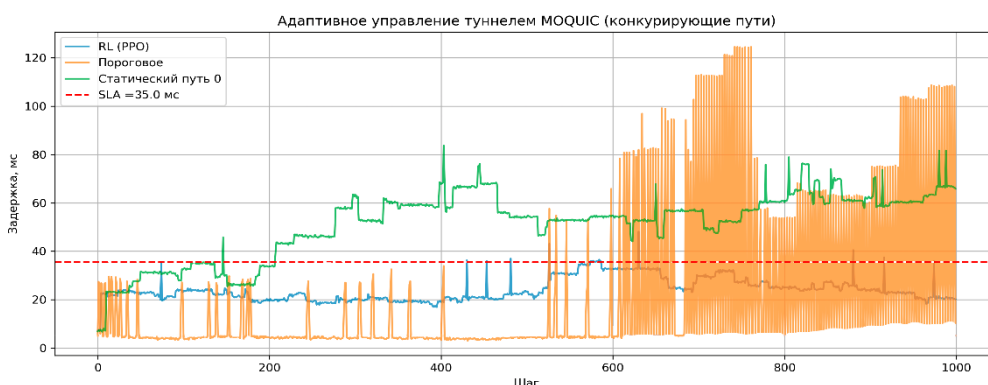


Рис. 3. Сравнение аналитического и гибридного прогнозов

Заключение

Предложен замкнутый контур интеллектуального управления туннелями MPLS-over-QUIC для сетей B5G/6G, включающий гибридное прогнозирование задержки (аналитическая модель + LSTM) и выбор пути на основе обучения с подкреплением (PPO). Гибридный прогноз снижает ошибку предсказания на 73,6 % (eMBB) и 66,7 % (URLLC), а RL-агент уменьшает долю нарушений SLA с 81 % до 10 % и с 15 % до 5 % соответственно. Временные параметры (10-100 мс) подтверждают пригодность подхода для реального времени.

Список используемых источников

1. Гольдштейн А. Б., Гольдштейн Б. С. Технология и протоколы MPLS. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 302 с.
2. Araniti G., Iera A., Pizzi S., Rinaldi F. Towards 6G Non-Terrestrial Networks. IEEE Network. 2022. Vol. 36. Iss. 1. PP. 113–120. DOI: 10.1109/MNET.011.2100191
3. Кучерявый А. Е., Гольдштейн Б. С. Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 160 с.
4. Гольдштейн А. Б. Модели и методы эксплуатационного управления телекоммуникационными сетями // Электросвязь. 2017. № 8. С. 35–41.
5. Степанов С. Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. М.: Горячая линия-Телеком, 2015. 867 с.

УДК 004.032.26

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СБОРА ДАННЫХ В CRM-СИСТЕМАХ

А. Б. Гольдштейн (д.т.н., профессор кафедры ИКС СПбГУТ)

А. Г. Харченко (студент группы МСУ-2591 СПбГУТ) harchenko.ag@sut.ru

В условиях экспоненциального роста объемов данных, накапливаемых в CRM-системах, остро встает вопрос выбора эффективных методов их сбора и анализа. В статье выполнен анализ целесообразности применения нейронных сетей (на примере гибридной архитектуры RAG + Fine-tuned Transformer) по сравнению с традиционными подходами (SQL, BI, Data mining). Приведены количественные технические показатели: время отклика, точность, вычислительные затраты, интерпретируемость результатов. Сформулированы условия, при которых нейросетевые решения обеспечивают операционное преимущество, и случаи, когда классические методы остаются предпочтительнее.

CRM-система, нейронные сети, целесообразность применения, технические показатели, RAG, Big Data, обработка естественного языка

ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF USING NEURAL NETWORKS FOR DATA COLLECTION IN CRM SYSTEMS

Goldstein A., Harchenko A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

In the context of exponential growth of data accumulated in CRM systems, the issue of selecting effective methods for their collection and analysis becomes critical. This paper evaluates the feasibility of using neural networks (exemplified by the hybrid RAG + Fine-tuned Transformer architecture) in comparison with traditional approaches (SQL, BI, Data mining). Quantitative technical performance metrics are provided: response time, accuracy, computational costs, and interpretability of results. Conditions under which neural network solutions provide operational advantages, as well as cases where classical methods remain preferable, are formulated.

Key words: CRM system, neural networks, feasibility, technical performance metrics, RAG, Big Data, natural language processing

Современные CRM-системы аккумулируют значительные объемы информации о клиентах – от контактных данных до истории взаимодействий и платежной дисциплины. Естественной потребностью бизнеса является использование этих данных для повышения качества обслуживания и увеличения продаж [1]. Однако объем информации часто превышает возможности ручного анализа, а стандартные инструменты выборки и визуализации

(SQL-запросы, отчеты, дашборды) не всегда эффективны при обработке сложных, неструктурированных или многоступенчатых запросов, сформулированных на естественном языке. Особенно если речь идет о работе в режиме реального времени.

В последние годы активно предлагается применение нейронных сетей для автоматизации сбора и анализа данных в CRM. Внедрение таких решений, однако, сопряжено с дополнительными затратами: на вычислительные ресурсы, обучение моделей, интеграцию и последующее сопровождение.

Традиционные методы сбора данных в CRM и их ограничения

Под сбором данных в CRM обычно понимают формирование выборок по заданным критериям, агрегацию показателей и экспорт результатов. Традиционные подходы включают:

- SQL-запросы к реляционной базе данных – точные, быстрые, но требующие знания схемы данных и языка запросов; плохо подходят для запросов на естественном языке и нечетких условий;
- OLAP-кубы и BI-панели (Power BI, Tableau) – удобны для стандартных отчетов и срезов, но негибки при появлении новых, не предусмотренных аналитиком вопросов;
- Data mining с классическими алгоритмами (кластеризация, деревья решений) – эффективны для выявления скрытых закономерностей, но требуют предобработки данных и не работают в режиме диалога;

Основные ограничения традиционных методов:

- запрос на естественном языке необходимо вручную переводить в формальный язык (SQL, MDX);
- сложные условия (например, «клиенты, которые пользуются тремя услугами, имеют подписок на сумму >1000 и стаж >4 лет») требуют составления многотабличных соединений;
- отсутствует диалоговый режим уточнения запроса.

Нейронные сети, в частности языковые модели (Transformer) и гибридные архитектуры RAG, позволяют интерпретировать запросы на естественном языке, извлекать релевантные данные из векторных представлений текстовых и числовых полей, генерировать ответ в человеко-читаемой форме.

Однако эти возможности достигаются ценой дополнительных вычислительных ресурсов, необходимости обучения (или дообучения) моделей на корпоративных данных и потери полной интерпретируемости результатов.

С теоретической точки зрения, применение нейронных сетей для сбора и анализа данных в CRM-системах базируется на способности глубоких архитектур извлекать семантические и статистические закономерности из слабоструктурированных и неполных данных. В отличие от детерминированных SQL-запросов, нейросетевые модели оперируют в пространстве векторных представлений (эмбедингов), что позволяет выполнять поиск по смыслу (semantic search), а не только по точному совпадению полей [2]. Наиболее релевантными для CRM-задач являются трансформерные архитектуры (BERT, GPT, T5), которые благодаря механизму внимания способны учитывать контекст запроса и выявлять неявные связи между атрибутами клиентов, такие как корреляции между поведенческими паттернами и платежной дисциплиной.

Кроме того, важную роль играет выбор подхода к интеграции нейросетевого модуля с существующей инфраструктурой CRM [3]. Прямое использование больших языковых моделей (LLM) в режиме zero-shot часто приводит к галлюцинациям и низкой точности на специфических корпоративных данных. Более теоретически обоснованным является гибридный подход RAG (Retrieval-Augmented Generation), в котором генеративная модель дополняется внешним поисковым компонентом, обращающимся к актуальной базе данных CRM. Это позволяет разделить ответственность: ретривер отвечает за точное извлечение фактов, а генератор – за формулировку ответа на естественном языке, что повышает достоверность и интерпретируемость результатов.

Для обоснованного решения о внедрении нейросетевого модуля сбора данных необходимо оценить некоторые факторы (Таблица 1).

ТАБЛИЦА 1. Сравнение традиционных методов и нейронной сети

Критерий	Традиционные методы	Нейросетевой подход
Точность на структурированных запросах	100 % (при корректном SQL)	85–98 % (зависит от качества обучения)
Скорость выполнения простого запроса	< 1 с (индексированная БД)	2–10 с (векторный поиск + генерация)
Сложность запросов на естественном языке	Низкая (требуется переводчика)	Высокая (прямая обработка)
Вычислительные затраты (CPU/GPU)	Низкие (только БД)	Высокие (GPU, память под эмбединги)

Критерий	Традиционные методы	Нейросетевой подход
Стоимость внедрения и обучения	Низкая (штатные средства)	Высокая (дата-сайентисты, разметка)
Интерпретируемость ответа	Полная (видно SQL-запрос)	Частичная («черный ящик»)
Возможность диалогового уточнения	Отсутствует	Присутствует

Таким образом, нейросетевые решения обеспечивают преимущества в удобстве работы с естественным языком и возможности диалогового уточнения, но уступают традиционным методам по скорости, предсказуемости затрат и интерпретируемости.

Для количественной оценки технических показателей (Таблица 2) рассмотрим модель на основе архитектуры RAG, содержащую ретривер (поиск релевантных записей по векторному сходству) и генератор (формирование ответа). Схема архитектуры приведена на рисунке 1.

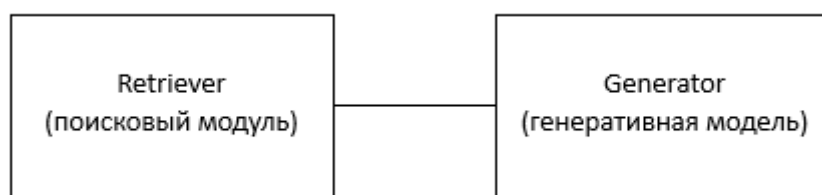


Рис. 1. Архитектура RAG нейронной сети

Оценка выполнена для типового аналитического запроса: «Найди количество клиентов, которые пользуются тремя услугами, имеют подписку на сумму больше 1000 у.е. и стаж более 4 лет».

ТАБЛИЦА 2. Технические показатели

Показатель	Значение (оценочно)
Время токенизации и выделения параметров	0,2–0,5 с (на CPU)
Время векторизации запроса (эмбединг)	0,3–0,8 с (GPU)
Время поиска в векторной БД (10 ⁶ записей)	0,5–2 с (индексы HNSW)
Время генерации ответа (трансформер)	1–5 с (зависит от длины)
Общее время ответа	2–8 с

Показатель	Значение (оценочно)
Точность (полнота и точность на тестовом наборе)	$F1 \approx 0,92$ (при качественном дообучении)
Потребление видеопамяти (для модели 7B параметров)	~16 ГБ (GPU)
Частота ошибок при нестандартных формулировках	5–10 %

Для сравнения: аналогичный запрос, реализованный в виде SQL-выборки с использованием индексов, выполняется за 0,05–0,2 с при точности 100 %, однако требует написания запроса квалифицированным аналитиком.

Применение нейросетей для сбора данных в CRM становится целесообразным при определенных условиях: высокая частота неструктурированных или сложных запросов от сотрудников, не владеющих SQL; необходимость диалогового уточнения (например, последовательное добавление фильтров); объем базы данных превышает 1 млн записей, а традиционные индексы не покрывают все возможные комбинации атрибутов; допустимо время ответа 5–10 секунд (асинхронный режим, не критично для оперативной работы); имеются вычислительные ресурсы (сервер с GPU) и квалифицированный персонал для дообучения и поддержки модели.

Нейросети нецелесообразно применять, если бизнес-запросы в основном типовые и могут быть покрыты параметрическими отчетами, требуется абсолютная точность (например, финансовые или юридические данные), ресурсы ограничены (нет GPU, нет дата-сайентистов), время ответа должно быть менее 1 секунды.

В данной статье проведена оценка целесообразности и технических показателей применения нейронных сетей для сбора данных в CRM-системах. Показано, что нейросетевые решения (RAG, дообученные трансформеры) обеспечивают значительные преимущества в обработке запросов на естественном языке и организации диалогового режима, но уступают традиционным методам по скорости, затратам и интерпретируемости. Рекомендуется гибридный подход: для стандартных запросов – классические SQL/BИ-инструменты, для сложных или диалоговых – нейросетевой модуль.

Список используемых источников

1. Назипов Р. С. Перспективы применения искусственного интеллекта в оптимизации бизнес-процессов компаний // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. № 1. С. 179-183. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy->

primeneniya-iskusstvennogo-intellekta-v-optimizatsii-biznes-protssessov-kompaniy (дата обращения: 17.04.2025).

2. Алексеев К. Н. Организация CRM-аналитики с использованием технологии Data mining // Финансовые рынки и банки 2021 № 4. С.4-9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-crm-analitiki-s-ispolzovaniem-tehnologii-data-mining/viewer> (дата обращения: 18.04.2025).

3. Любинский М. С. Применение алгоритмов машинного обучения для сегментации клиентов в CRM-системах на основе анализа больших данных // Вестник науки. 2025. № 4(85). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-algoritmov-mashinnogo-obucheniya-dlya-segmentatsii-klientov-v-crm-sistemah-na-osnove-analiza-bolshih-dannyh> (дата обращения: 17.04.2025).

Статья представлена доктором технических наук, профессором кафедры ИКС СПбГУТ А. Б. Гольдштейном.

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ЗАГРУЖЕННОСТИ РАДИОЭФИРА СТАНДАРТА IEEE 802.11

К. С. Даль (студент группы РТ-91, СПбГУТ), dal.ks@sut.ru

В статье рассматривается реализация аппаратно-программного комплекса, предназначенного для оперативного мониторинга радиосреды Wi-Fi в диапазоне 2,4 ГГц. Описана архитектура системы, состоящей из измерительного модуля на базе микроконтроллера ESP32 и мобильного приложения, разработанного с использованием фреймворка Flutter. Предложен алгоритм выбора оптимального канала на основе взвешенной метрики, а также представлены рекомендации по использованию разработанного аппаратно-программного комплекса.

Wi-Fi мониторинг, ESP32, Flutter, Bluetooth Low Energy, sniffing трафика, PCAP

DEVELOPMENT OF A MOBILE HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM FOR MONITORING AND ANALYZING IEEE 802.11 AIRTIME UTILIZATION

Dal K.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article discusses the implementation of a hardware-software system designed for the real-time monitoring of the Wi-Fi radio environment in the 2.4 GHz band. It describes the system architecture, which consists of a measurement module based on the ESP32 microcontroller and a mobile application developed using the Flutter framework. An algorithm for selecting the optimal channel based on a weighted metric is proposed, and recommendations for using the developed system are presented.

Key words: Wi-Fi monitoring, ESP32, Flutter, Bluetooth Low Energy, traffic sniffing, PCAP

Современные беспроводные сети стандарта IEEE 802.11 (Wi-Fi), работающие в нелицензируемом диапазоне 2,4 ГГц, сталкиваются с проблемой критической перегрузки радиоэфира. Высокая плотность точек доступа в городских условиях и ограниченное количество непересекающихся каналов (1, 6 и 11) приводят к возникновению взаимных помех, снижению пропускной способности и нестабильности соединений [1]. В связи с этим задачи оперативного мониторинга радиосреды и анализа структуры трафика становятся приоритетными для сетевых администраторов и специалистов по защите информации.

Существующие профессиональные решения для анализа Wi-Fi часто обладают высокой стоимостью или требуют использования специализированного дорогостоящего оборудования. В то же время программные анализаторы для смартфонов ограничены возможностями API мобильных операционных

систем, которые зачастую запрещают доступ к «сырым» (raw) кадрам радиоэфира и скрывают технические параметры маячковых (beacon) кадров [1].

Одним из перспективных подходов к решению данной проблемы является создание систем, в том числе распределенных на базе бюджетных микроконтроллеров с развитой радиопериферией. Микроконтроллер ESP32 компании Espressif Systems поддерживает работу в режиме прослушивания, что позволяет осуществлять перехват трафика без ассоциации с точкой доступа [2, 3].

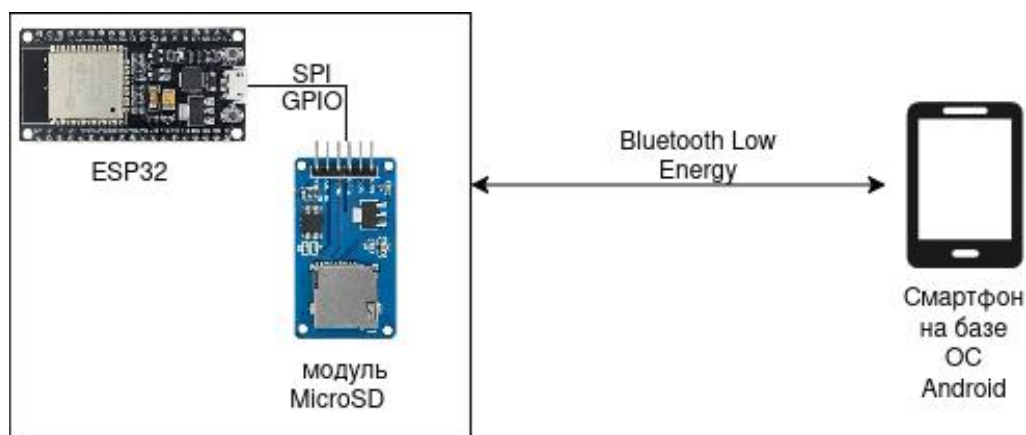


Рис. 1. Схема программно-аппаратного комплекса

Целью данной работы является разработка программно-аппаратного анализатора Wi-Fi сетей, объединяющего возможности портативного сниффера и аналитического инструмента в виде мобильного приложения на базе фреймворка Flutter. Выбор ранее упомянутого чипа ESP32 в качестве аппаратной основы продиктован не только наличием нужного радиорежима, но и оптимальным балансом вычислительных мощностей и встроенной поддержкой Bluetooth Low Energy (BLE) [4], что позволяет связать модуль со смартфоном без дополнительных компонентов.

Для достижения поставленной цели был решен комплекс взаимосвязанных практических задач. Во-первых, реализована прошивка для активного сканирования диапазона 2,4 ГГц и перехвата кадров управления 802.11. Во-вторых, для возможности ретроспективного глубокого анализа организовано сохранение захваченных кадров в формате PCAP на внешнем носителе microSD, подключенном к микроконтроллеру по интерфейсу SPI. В-третьих, разработан протокол передачи данных по BLE с использованием механизма бинарной сериализации Protocol Buffers для работы в условиях ограниченного максимального размера передаваемого блока MTU [5], а также создано клиентское приложение для визуализации загруженности и выдачи рекомендаций по выбору канала.

Прошивка микроконтроллера разработана на базе официального фреймворка ESP-IDF с использованием языка C [6]. Логика работы устройства разделена на два основных режима, переключение между которыми осуществляется командами от мобильного приложения. В режиме сканера (APP_MODE_SCAN) устройство циклически выполняет активное сканирование каналов 802.11. Для каждой обнаруженной точки доступа фиксируются идентификатор сети (SSID), уровень принимаемого сигнала (RSSI), номер канала и тип аутентификации. В режиме сниффера (APP_MODE_SNIFFER) микроконтроллер переводится в режим прослушивания (promiscuous mode), в котором штатное сканирование приостанавливается. Устройство осуществляет перехват служебных кадров (management frames), в частности, кадров-маячков (beacon) с параллельным переключением каналов и производит потоковую запись данных в файл формата .pcap на SD-карту.

Для организации взаимодействия со смартфоном микроконтроллер ESP32 сконфигурирован как периферийное BLE-устройство с развернутым сервером GATT – стандартным профилем BLE для структурированной передачи данных [7] – на базе открытого программного стека NimBLE [5]. Выбор данного стека обусловлен его пониженным потреблением оперативной памяти по сравнению со стандартным решением Bluedroid. Передача накопленных массивов данных и результатов сканирования осуществляется через специально выделенную GATT – характеристику с использованием механизма асинхронных уведомлений.

Учитывая спецификации протокола BLE и ограничения максимального размера передаваемого блока [8], отправка объемных структур требует реализации прикладного уровня фрагментации. Для этого данные предварительно сериализуются с применением формата Protocol Buffers [8], после чего разбиваются на фрагменты. Каждый фрагмент снабжается 4-байтовым заголовком, содержащим идентификатор пакета и смещение, что обеспечивает отказоустойчивую сборку исходного сообщения на стороне мобильного клиента.

Клиентская часть комплекса представляет собой кроссплатформенное мобильное приложение, разработанное с использованием фреймворка Flutter. Приложение устанавливает BLE-соединение с модулем, подписывается на GATT-уведомления для приема потока данных и управляет режимами работы ESP32. Принимаемые фрагменты предварительно реконструируются в полные сообщения, после чего десериализуются, а извлеченные данные сохраняются в локальной реляционной базе данных SQLite. Накопленная статистика позволяет строить графики изменения количества сетей во времени и оценивать агрегированное распределение нагрузки.

Для поддержки принятия решений в приложении реализован алгоритм рекомендации оптимального канала из набора непересекающихся частот (1, 6 и 11). Для каждого канала-кандидата рассчитывается взвешенная метрика загруженности по формуле: $score = N(c) + 0,5 \cdot (N(c - 1) + N(c + 1))$, где $N(x)$ – количество обнаруженных сетей на частотном канале x . Система анализирует радиоэфир и рекомендует пользователю канал с минимальным значением вычисленной метрики.

Таким образом, разработанный аппаратно-программный комплекс решает задачу мониторинга сетей Wi-Fi в диапазоне 2,4 ГГц. Использование микроконтроллера ESP32 позволило обойти программные ограничения мобильных операционных систем и реализовать перехват радиокадров с записью в формате PCAP. Применение протокола BLE в связке с ProtocolBuffers обеспечило надежный канал передачи аналитических данных на мобильное устройство. Дальнейшее развитие комплекса предполагает расширение поддерживаемого частотного диапазона до 5 ГГц, а также внедрение облачной синхронизации для сбора распределенной статистики.

Список использованных источников:

1. Gast M. 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, Second Edition. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2005. 670 p. ISBN 978-0596100520.
2. ESP32 Series Datasheet Version 5.2 // Espressif Centralized Documentation Platform (CDP) [сайт]. URL: https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.pdf (дата обращения: 01.03.2026).
3. Riza F., Hendrakusuma D. F., Wibowo B. An Energy-Efficient ESP32 IoT System for Real-Time Detection of WiFi Deauthenticaiton Attacks // International Journal of Engineering Continuity. 2025. Vol. 4. Iss. 2. P. 57-68. DOI: 10.58291/ijec.v4i2.433.
4. Hercog D., Lerher T., Truntic M., Tezak O. Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices // Sensors. 2023. Vol. 23. Iss. 15. P. 6739. DOI: 10.3390/s23156739.
5. Popic S., Pezer D., Mrazovac B., Teslic N. Performance evaluation of using Protocol Buffers in the Internet of Things communication // 2016 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST). 2016. P. 261–265. DOI:10.1109/SST.2016.7765670.
6. ESP32. ESP-IDF Programming Guide // Espressif Systems [сайт]. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v5.3/esp32/esp-idf-en-v5.3-esp32.pdf> (дата обращения: 10.01.2026).
7. Townsend K., Cufi C., Akiba, Davidson R. Getting Started with Bluetooth Low Energy: Tools and Techniques for Low-Power Networking. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2014. 178 p. ISBN 978-1491949511.
8. Bluetooth Core Specification // Bluetooth SIG Proprietary. URL: <https://bluetooth.com/specifications/specs/core-specification-5-3/> (дата обращения: 01.03.2026).

Статья представлена научным руководителем, доктором технических наук, профессором кафедры СС и ПД СПбГУТ С. С. Владимировым.

УДК 004.358

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕТЕВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА РАБОТУ VR-ПРИЛОЖЕНИЙ

Р. А. Дунайцев (к.т.н., доцент, доцент кафедры СС и ПД, СПбГУТ)

Н. М. Сaitов (студент группы ИКТИ-45м, СПбГУТ), saitov.nm@sut.ru

Технологии расширенной реальности (XR), включающие виртуальную (VR), дополненную (AR) и смешанную реальность (MR), в последние годы активно развиваются и находят применение в образовании, промышленности и научных исследованиях. Однако, широкое внедрение XR-систем сталкивается с рядом технических ограничений, ключевым из которых является зависимость качества пользовательского опыта от характеристик сети передачи данных.

XR, VR, 4G, 5G, задержка, QoE, OpenXR, сетевые характеристики

STUDYING THE IMPACT OF NETWORK CHARACTERISTICS ON THE PERFORMACE OF VR-APPLICATIONS

Dunaitsev R., Saitov N.

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Extended reality (XR) technologies, including virtual reality (VR), augmented reality (AR), and mixed reality (MR), have been rapidly developing in recent years and finding applications in education, industry, and scientific research. However, the widespread adoption of XR systems faces a number of technical limitations, the key one being the dependence of the user experience on the network's performance.

Key words: XR, VR, 4G, 5G, latency, QoE, OpenXR, network performance

XR-приложения представляют собой интерактивные мультимедийные среды, требующие высокой пропускной способности канала связи, низкой задержки и минимального джиттера [1]. Для обеспечения комфортного пользовательского опыта (QoE) критично соблюдение требований к задержке передачи данных (менее 20 мс для motion-to-photon [2]), а также стабильности медиа-трафика.

Ключевой проблемой современного XR-сегмента является фрагментация технологической экосистемы. На данный момент отсутствует единый стек технологий, охватывающий все уровни взаимодействия от пользовательского интерфейса до сетевой инфраструктуры [3].

Переход инфраструктуры XR от сетей 4G к 5G существенно повлияет на качество QoE, что является основным показателем для оценки качества работы XR-приложений. Сравнение сетей 4G и 5G представлено в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение стеков 4G и 5G для XR-приложений

Метрика	4G (Экспериментальные)	5G (Экспериментальные)	Влияние на VR
Задержка (RTT)	30–80 мс	10–30 мс	Критично для восприятия
Джиттер	высокий (5–20 мс)	низкий (1–5 мс)	Влияние на стабильность кадров
Скорость	100+ Мбит/с	100–400+ Мбит/с	Влияние на качество стриминга
Потери	нестабильные	ниже	Влияние на «видео-артефакты»
QoS	Лучшие метрики	Конфигурируемый	Центральная характеристика
Поддержка Edge-Computing	нет	есть (MEC)	Критично для задержки

Однако даже в 5G-сетях не всегда достигаются значения, необходимые для стабильной работы XR, особенно при отсутствии пограничных вычислений [4].

Для глубокого исследования влияния сетевых характеристик на работу XR-приложений был разработан экспериментальный стенд, позволяющий сравнивать поведение XR-систем в сетях 4G и 5G [5] на примере VR-среды.

Стенд построен по модульному принципу и включает следующие уровни:

1. Пользовательский уровень: VR-гарнитура и VR-среда, реализованная в среде Unity с использованием OpenXR API;
2. Сетевой уровень: два альтернативных канала передачи данных (4G и 5G), реализуемые с использованием соответствующих модемов, подключение через Wi-Fi 5;

3. Уровень вычислений: удаленный вычислительный узел (VPS), обеспечивающий обработку и передачу VR-медиаконтента;

4. Аналитический уровень: система сбора метрик.

Дополнительно проводится сбор оценок QoE от добровольных тестировщиков по модели Adaptive Cloud VR Gaming [6].

В качестве прикладного уровня используется стек технологий, включающий:

- OpenXR – унифицированный API для XR;
- WebRTC – передача медиа-потока;
- QUIC – транспортный протокол;
- MPEG-Dash – кодирование контента.

Разработанный стенд позволяет максимально детально сравнить принципиальные различия двух сетевых сред, используя единое XR-приложение, а благодаря масштабируемой архитектуре, может быть расширен для исследования перспективных 6G-сценариев.

Список используемых источников

1. Клуб 4CIO, Расширенная реальность (VR / AR / MR) // Учебник 4CDTO, 2025, ISBN: 978-5-04-844755-0, С. 1-14.
2. Unity Association, Motion-to-photon latency // Unity Glossary, URL: <https://unity.com/ru/glossary/motion-to-photon-latency> (дата обращения: 10.04.2026).
3. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы, 2016, ISBN: 978-5-496-01967-5.
4. Волков А. Разработка и исследование комплекса моделей и методов построения сетей связи на основе туманных вычислений и предоставления услуг телеприсутствия: дис. на соискание ученой степени доктора технических наук / Волков Артем Николаевич. Санкт-Петербург, 2024, 330 с.
5. Чернецова Е. А. Системы и сети передачи данных: мобильная связь поколения 5G // Учебное пособие для ВУЗов, 2023, ISBN: 978-5-507-47800-2 С. 40-44.
6. Kuan-Yu Lee, Ashutosh Singla, Pablo Cesar, Cheng-Hsin Hsu Authors Info & Claims Adaptive Cloud VR Gaming Optimized by Gamer QoE Models // ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications, Volume 21, Issue 9 Article No.: 256, P. 1-24, <https://doi.org/10.1145/3680551>.

УДК 534.843.12

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ САБВУФЕРНОГО МАССИВА НА ПРИМЕРЕ КОНЦЕРТНОЙ ПЛОЩАДКИ «АВРОРА»

В. П. Жиряков (студент группы Р-41м, СПбГУТ), zhiryakov.vp@sut.ru

В статье представлены результаты исследования различных конфигураций сабвуферного массива на примере концертной площадки «Аврора». Рассмотрена проблема распределения низкочастотной энергии в зрительных зонах зала. Для оценки существующей конфигурации выполнены натурные измерения и акустическое моделирование. Полученные результаты позволили сопоставить исходную схему размещения сабвуферов с альтернативными вариантами. На основании анализа определено перспективное направление дальнейшей оптимизации низкочастотного звена системы звукоусиления.

звукоусиление, низкочастотное звуковое поле, сабвуферный массив, концертные площадки, моделирование

STUDY OF VARIOUS SUBWOOFER ARRAY CONFIGURATIONS USING THE AURORA CONCERT VENUE AS AN EXAMPLE

Zhiriakov V.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article presents the results of a study of various subwoofer array configurations using the Aurora concert venue as an example. The problem of low-frequency energy distribution in the audience areas of the hall is considered. To evaluate the existing configuration, field measurements and acoustic modeling were carried out. The obtained results made it possible to compare the initial subwoofer placement scheme with alternative configurations. Based on the analysis, a promising direction for further optimization of the low-frequency section of the sound reinforcement system was determined.

Key words: *sound reinforcement, low-frequency sound field, subwoofer array, concert venues, modeling*

Качество звучания на концертных площадках определяется не только техническими характеристиками применяемого звукоусилительного оборудования, но и особенностями формирования звукового поля в конкретном помещении. На результат влияют геометрия зала, расположение зрительных зон, акустические свойства ограждающих конструкций, размещение громкоговорителей и характер взаимодействия прямого и отраженного звука. Особую сложность представляет низкочастотный диапазон, в котором заметно проявляются интерференционные эффекты, связанные с взаимодействием нескольких источников излучения и положением слушателя относительно сабвуферного массива. В результате в одних зонах концертной площадки может

наблюдаться избыточный уровень низких частот, тогда как в других зонах низкочастотная составляющая воспринимается ослабленной. Поэтому выбор конфигурации сабвуферного массива является важной задачей при проектировании и настройке систем звукоусиления, а равномерность распределения звукового давления в зоне прослушивания выступает одним из ключевых критериев оценки качества такой системы [1].

В качестве объекта исследования выбрана концертная площадка «Аврора», расположенная по адресу Финляндский просп., 4Б, Санкт-Петербург. Зал включает несколько зрительных зон, отличающихся условиями восприятия звука: танцпол, подбалконное пространство, большой и малый балконы. Такая структура зала усложняет задачу равномерного распределения низкочастотной энергии, поскольку слушатели находятся на разной высоте и на различном расстоянии от сабвуферного массива [2]. Общий вид концертной площадки и исходное размещение сабвуферов перед сценой представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Концертная площадка «Аврора» внутри (слева), исходное размещение сабвуферного массива (справа)

Низкочастотное звено системы звукоусиления площадки состоит из десяти сабвуферов Meyer Sound 700-HP, расположенных перед сценой в одну линию с шагом 0,8 м. Пространственная направленность массива формируется не за счет физического изгиба линии сабвуферов, а с помощью поэлементных временных задержек [3], задаваемых в цифровом акустическом процессоре Meyer Sound Galileo 616. Такая конфигурация получила название «задержанная арка» и используется для расширения зоны низкочастотного покрытия с учетом геометрии зала.

Натурные измерения выполнялись на концертной площадке «Аврора» с использованием программного комплекса Smaart. В качестве тестового сигнала применялся розовый шум [4], подаваемый через систему звукоусиления площадки. Измерительный сигнал фиксировался с помощью микрофона Audix TM1, подключенного к аудиointерфейсу Native Instruments Komplete

Audio 6 MK2. Анализ проводился по уровню звукового давления и амплитудно-частотным характеристикам в контрольных точках зала [5].

Контрольные точки были выбраны таким образом, чтобы охватить основные зрительные зоны концертной площадки: танцпол, подбалконное пространство, большой и малый балконы. Такое расположение точек позволило оценить изменение низкочастотного звукового поля в зависимости от положения слушателя в зале. Схема расположения контрольных точек натурных измерений представлена на рисунке 2.

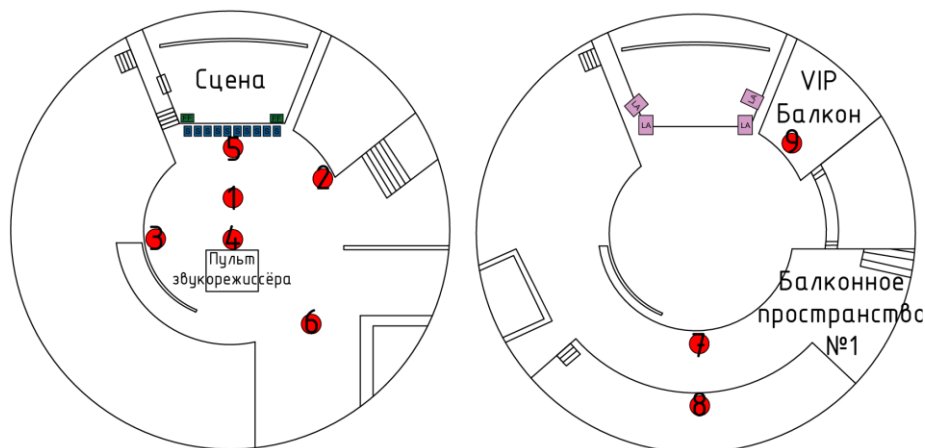


Рис. 2. Схема зала с точками измерения на высоте 1.0 м. (слева), на высоте 5.3 м. (справа)

По результатам натурных измерений установлено, что низкочастотная составляющая присутствует во всех исследованных зрительных зонах концертной площадки. При этом наиболее выраженное низкочастотное покрытие наблюдается в основной зоне танцпола, тогда как в подбалконном пространстве и на балконах уровень низких частот снижается. Критических провалов звукового давления в контрольных точках выявлено не было, однако зафиксировано неравномерное распределение низкочастотной энергии по залу. Общая неравномерность звукового поля, определенная как разность между максимальным и минимальным уровнем звукового давления в контрольных точках, по результатам натурных измерений составила 27 дБ.

Моделирование исходной конфигурации «задержанная арка» в MAPP 3D показало качественное согласование с результатами натурных измерений. Расчетная общая неравномерность звукового поля для данной конфигурации составила 29 дБ, что близко к значению, полученному при натурных измерениях. Кроме того, карта распределения уровня звукового давления, рассчитанная в MAPP 3D [6], соответствует субъективным наблюдениям при прослушивании: наиболее выраженное низкочастотное покрытие фиксируется в зоне танцпола, тогда как балконные зоны воспринимаются менее насыщенными по низким частотам. Распределение уровня звукового давления при исходной конфигурации представлено на рисунке 3.

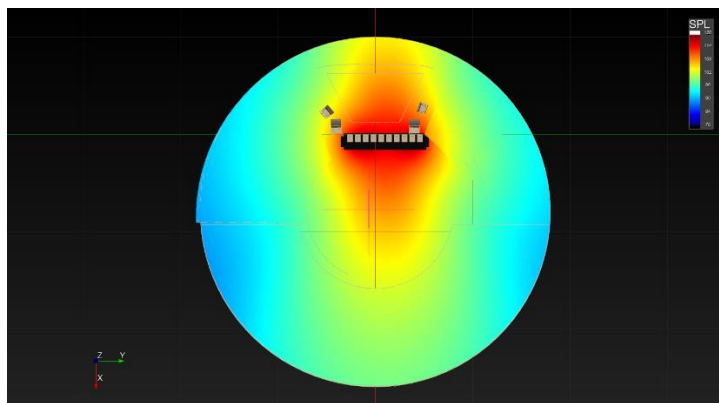


Рис. 3. Карта распределения звукового давления при конфигурации «задержанная арка»

Для оценки возможных направлений оптимизации низкочастотного звена были рассмотрены альтернативные конфигурации сабвуферного массива. В качестве одного из вариантов моделировалось размещение сабвуферов в виде двух подвесных боковых массивов, расположенных по краям сцены. Предполагалось, что такое размещение может способствовать более широкому охвату зрительных зон, включая балконы. Однако результаты моделирования показали выраженную интерференционную картину, связанную с разнесением источников излучения. Это приводит к чередованию зон повышенного и пониженного уровня звукового давления и снижает равномерность низкочастотного покрытия.

В качестве второго варианта была рассмотрена конфигурация, включающая линейное размещение сабвуферов перед сценой и центральный подвесной сабвуферный кластер. По результатам моделирования данная схема показала более равномерное распределение уровня звукового давления по сравнению с подвесными боковыми массивами. Это позволяет рассматривать ее как наиболее перспективное направление дальнейшей оптимизации низкочастотного звена системы звукоусиления. Сравнение распределения уровня звукового давления для альтернативных конфигураций представлено на рисунке 4.

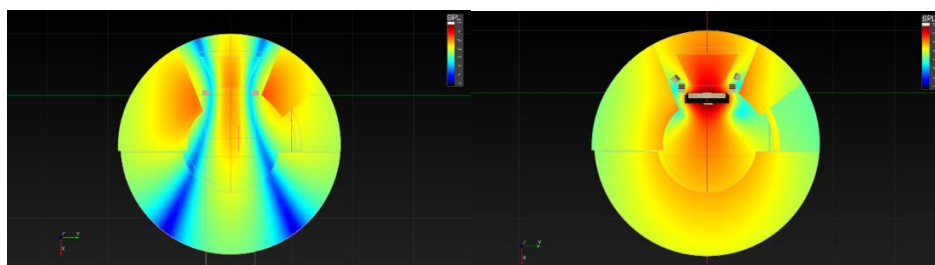


Рис. 4. Карта распределения звукового давления при конфигурации «подвесные сабвуферные массивы» (слева), и при конфигурации «линейное размещение + центральный кластер» (справа)

В результате выполненного исследования проведена оценка существующей конфигурации сабвуферного массива концертной площадки «Аврора» и рассмотрены альтернативные варианты размещения низкочастотного звена. Натурные измерения показали наличие низкочастотной составляющей во всех исследованных зрительных зонах, однако распределение звукового давления по залу остается неравномерным. Полученные результаты качественно согласуются с акустическим моделированием исходной конфигурации в MAPP 3D, что подтверждает возможность использования расчетной модели для дальнейшего анализа вариантов размещения сабвуферов.

Сравнение альтернативных конфигураций показало, что размещение сабвуферов в виде подвесных боковых массивов приводит к выраженной интерференционной картине и не обеспечивает требуемого улучшения равномерности низкочастотного покрытия. Наиболее перспективным направлением дальнейшей работы является схема, сочетающая линейное размещение сабвуферов перед сценой с центральным подвесным сабвуферным кластером. Дальнейшее исследование данной конфигурации должно быть направлено на оптимизацию направленности центрального кластера и параметров нижнего массива с целью повышения равномерности низкочастотного покрытия концертной площадки.

Список используемых источников

1. Катунин Г. П. Акустика помещений: учебное пособие / Г. П. Катунин. Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2024. 192 с. ISBN: 978-5-4497-3529-4.
2. Ковалгин Ю. А., Вологдин Э. И. Аудиотехника. Учебник для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 742 с. ISBN: 978-5-9912-0241-1.
3. Исаков Ю.И. Цифровая обработка звуковых сигналов в музыкальной акустике. Электроакустическая система активного управления звуковым полем // Вестник музыкальной науки: науч. журн. 2016. № 2(12). С 60-71.
4. Rational Acoustics. Smaart v8 User Guide, Release 8.1. 2016. 210 p. URL: <https://djeaudio.djproduction.com/wp-content/uploads/sites/2/2018/08/Smaart-v8.1-User-Guide.pdf> (дата обращения: 28.04.2026).
5. ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы. М.: Стандартинформ, 2014. 26 с.
6. MAPP 3D User Guide. Meyer Sound Laboratories. URL: <https://docs.meyer-sound.com/products/en/user-guide---mapp-3d.html> (дата обращения: 28.04.2026).

Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем кафедры ЦТМ СПбГУТ О. А. Свиньиной.

УДК 004.415

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОТОКОЛОВ СЕТЕЙ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

А. В. Зимин (ст. преподаватель ИКС, СПбГУТ), zimin@sut.ru

А. М. Кондратьев (студент группы ИКТМ-42м, СПбГУТ),
kondratev.am@sut.ru

В данной работе рассматривается возможность применения сетей Петри для моделирования и тестирования сетевых протоколов, что особенно актуально в условиях усложнения архитектур сетей пятого поколения и роста затрат на их тестирование. Разработана сеть Петри для моделирования работы различных протоколов на сети с учетом временных задержек на обработку трафика.

сети Петри, сетевые протоколы, 5G, тестирование, SIP, IMS

INVESTIGATION OF THE APPLICABILITY OF PETRI NETS FOR TESTING FIFTH-GENERATION NETWORK PROTOCOLS

Zimin A., Kondratyev A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper examines the potential of using Petri nets to model and test network protocols—a topic of particular relevance given the increasing complexity of fifth-generation network architectures and the rising costs associated with their testing. A Petri net has been developed to model the operation of various protocols within the network, accounting for traffic processing time delays.

Key words: Petri nets, network protocols, 5G, testing, SIP, IMS

С переходом к более сложным и многогранным сетям пятого поколения важность задачи тестирования протоколов особенно возрастает. При этом становится практически невозможно проводить тестирование на реальном оборудовании для каждой возможной реализации архитектуры сети ввиду больших расходов на создание тестовых площадок.

Вместо этого имеет смысл использования методов моделирования работы необходимой реализации. Одним из способов создания модели, позволяющей оценить работоспособность протокола или участка сети, являются сети Петри.

Ранее [1] была рассмотрена сеть Петри, описывающая транзакцию SIP INVITE. Данная сеть представлена на рисунке 1.

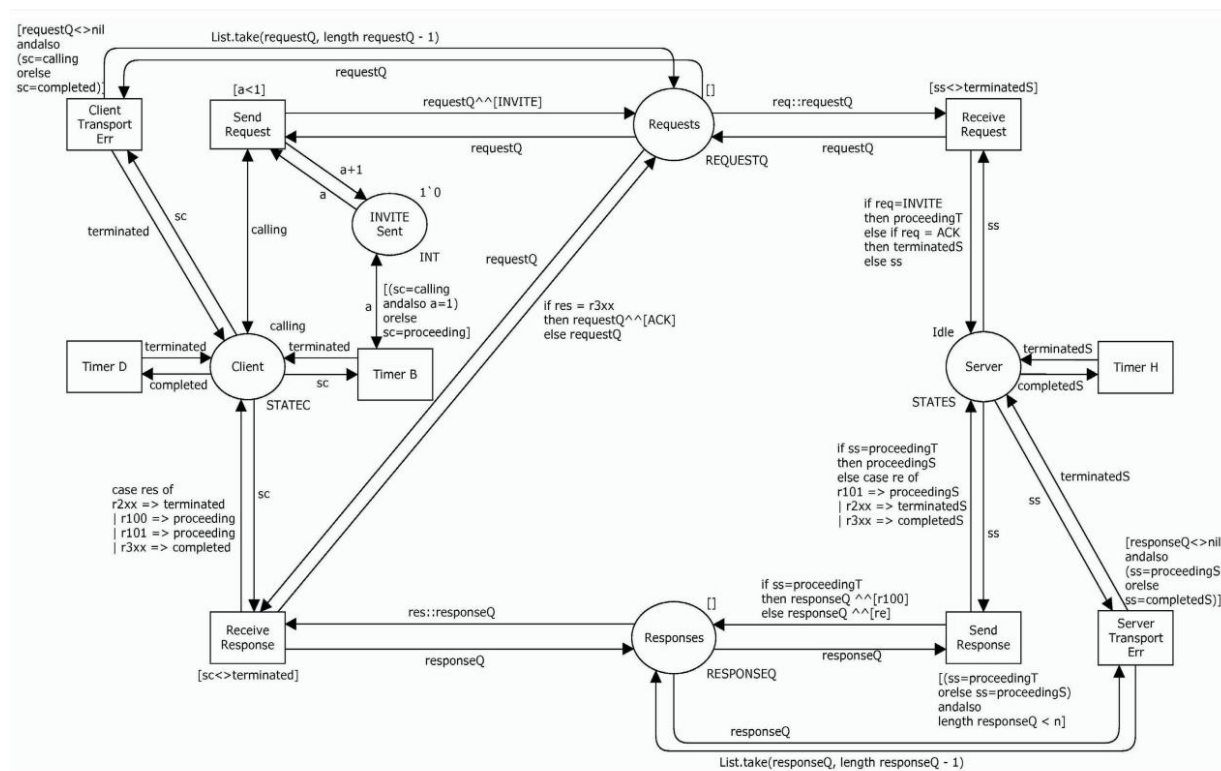


Рис. 1. Сеть Петри для INVITE транзакции

Было проведено моделирование работы сети, которое показало, что данная сеть Петри может быть использована для моделирования работы SIP транзакций в рамках функционального тестирования.

Однако, тестирование протоколов в условиях сетей 5-го поколения также требует наличия нагрузочного тестирования для оценки производительности выбранной конфигурации сети. Для этого сеть Петри была расширена до иерархической сети. Иерархические сети Петри – сети Петри, содержащие в себе другие сети Петри, выполняющие определенную функцию. Это позволило моделировать работу нескольких протоколов или, например, нескольких различных сетевых слоев.

Была составлена верхнеуровневая сеть Петри, включающая в себя генератор запросов в виде условного абонента А, ядро сети, обрабатывающее запросы, а также удаленную сторону абонента Б (рисунок 2).

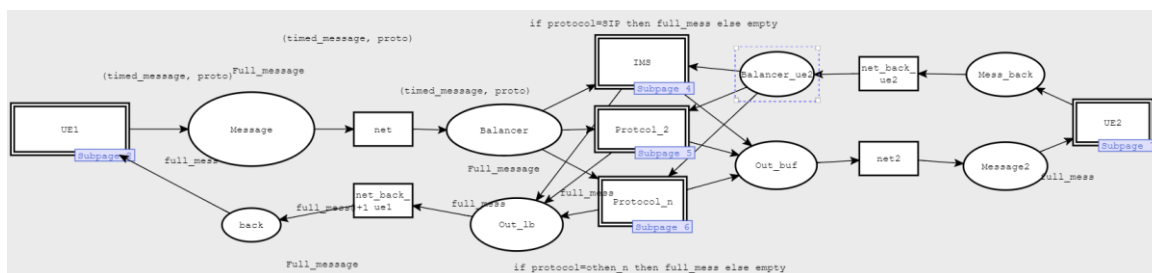


Рис. 2. Верхнеуровневая модель

Данная сеть Петри содержит в себе несколько подсетей, выполняющих различные функции. Например, UE1, выполняющий роль генератора запросов [2], учитывающий время отправки запроса, время получения ответа. Также он позволяет отправлять запросы различных протоколов или одного протокола, но в разные сетевые слои с определенной скоростью. Сеть Петри для UE1 представлена на рисунке 3.

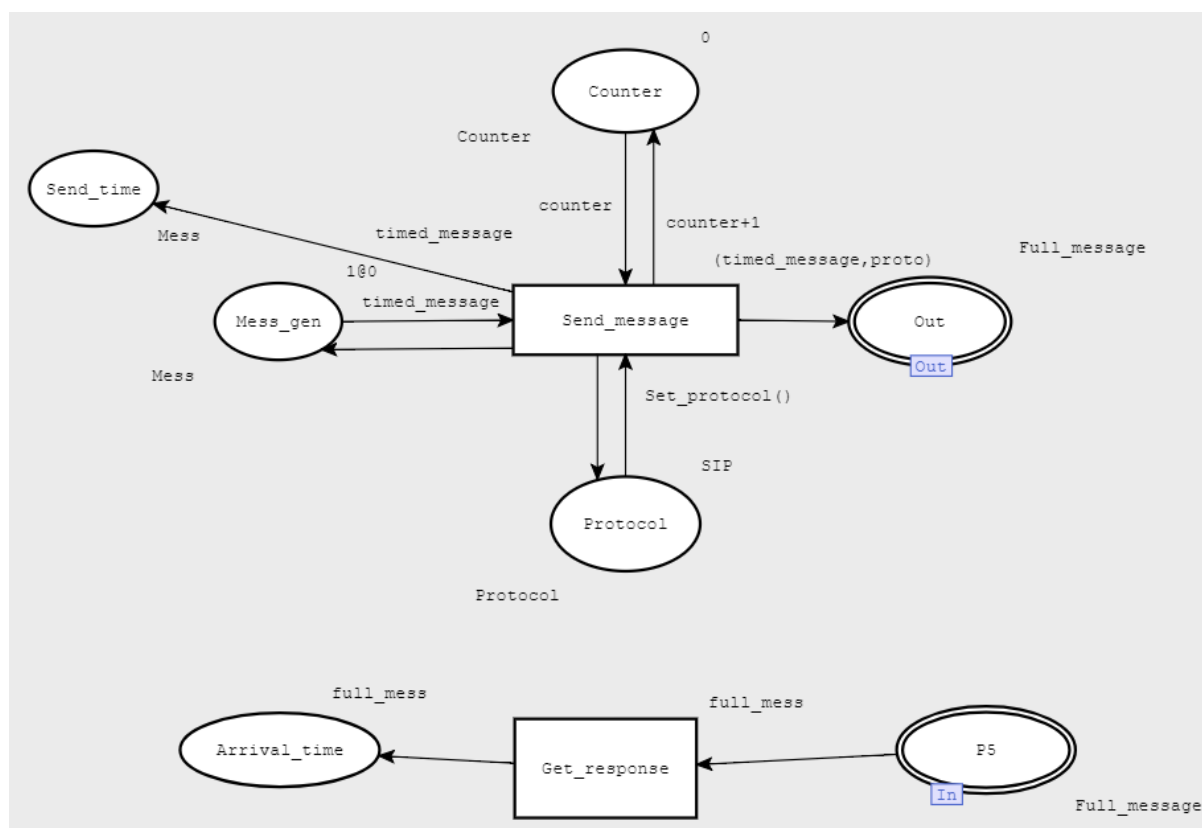


Рис. 3. Сеть Петри для UE1

На рисунке 4 представлен процесс работы сети Петри со сбором метрик времени отправки запросов и получения ответов от сервера. Подобным образом составлены и другие сети Петри, такие как IMS, включающий в себя сеть, моделирующую работу SIP-серверов архитектуры IMS, и транзакций в них [3, 4].

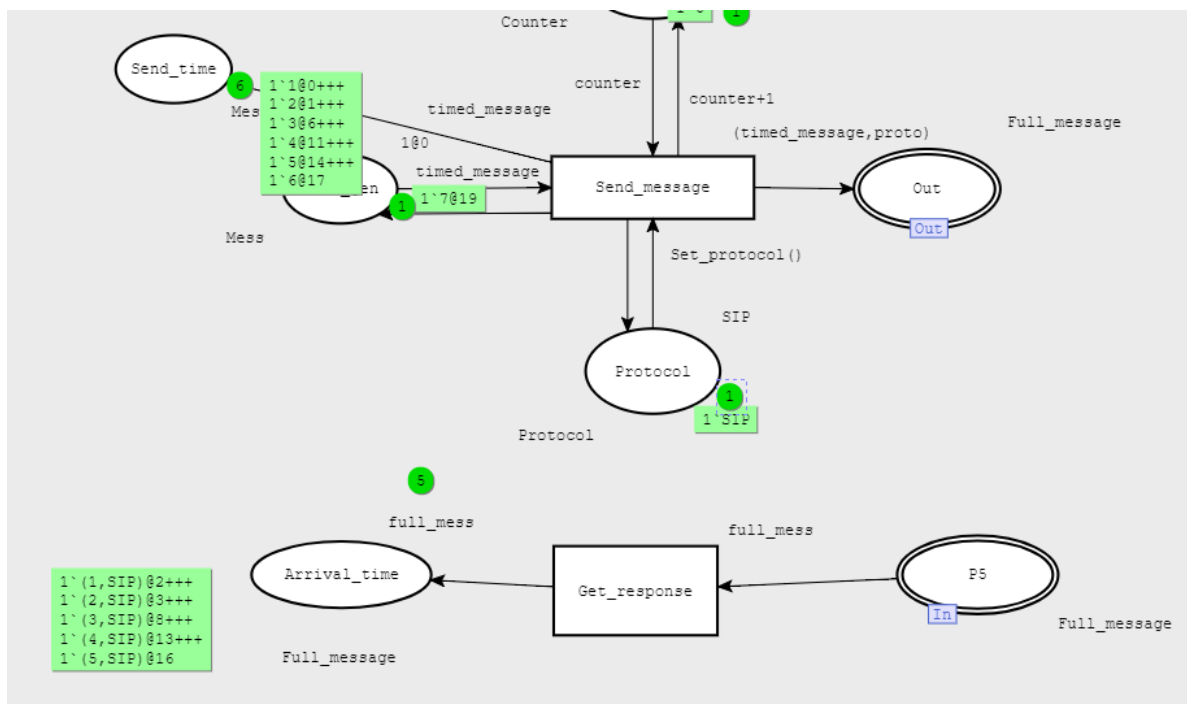


Рис. 4. Сеть Петри UE1 в процессе работы

Таким образом видно, что сети Петри предоставляют достаточный функционал для проведения функционального тестирования и моделирования нагрузочного тестирования для различных протоколов в сетях 5-го поколения и последующего их анализа.

Список используемых источников

1. А. В. Зимин, А. М. Кондратьев. Использование сетей Петри для тестирования сетевых протоколов // 79-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна-2025»: сб. науч. ст. / Под ред. А. В. Рабина; сост. А. А. Дзюбаненко, И. М. Татарникова. СПб.: СПбГУТ, 2025. С. 62-66.
2. Е. Д. Кузьминых Оценка параметров SIP-сети с использованием раскрашенных сетей Петри // Электронное научное специализированное издание – журнал «Проблемы телекоммуникаций». 2012. № 1. С. 30-40.
3. An'an Luo, Chuang Lin, Kai Wang, Fengyuan Ren, Limin Miao: Performance Modeling and Evaluation using Queuing Petri Nets in IMS. // 2009 Fourth International Conference on Communications and Networking in China. 2009. DOI: 10.1109/CHINACOM.2009.5339817
4. G. Mishra, S. Dharmaraja and S. Kar. Performance analysis of SIP signaling network using hierarchical modeling // 2014 Twentieth National Conference on Communications (NCC). 2014. DOI: 10.1109/NCC.2014.6811338

Статья представлена научным руководителем, профессором кафедры ИКС СПбГУТ, доктором технических наук, доцентом А. Б. Гольдштейном.

УДК 534.8: 621.396

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МИМО-КАНАЛА АКУСТИЧЕСКОГО ТРАНСФОРМАТОРА

А. В. Качнов (аспирант группы 2213А-24, СПбГУТ), kachnov.av@sut.ru

В работе представлена обобщенная математическая модель канала МИМО для систем ультразвуковой передачи данных через металлические барьеры. В отличие от классических гидроакустических или радиоканалов, распространение упругих волн в ограниченной пластине сопровождается интерференцией объемных, латеральных и направляемых волн. Предложенное аналитическое выражение передаточной функции канала учитывает три механизма переноса энергии: прямую волну, латеральную волну и дисперсионную волну Лэмба. Полученный результат позволяет оценить пространственно-временную структуру многолучевого МИМО канала в металлическом барьере.

ультразвуковая связь, акустический трансформатор, МИМО, латеральная волна, передача через металл

GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF AN ACOUSTIC TRANSFORMER MIMO CHANNEL

Kachnov A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper presents a generalized mathematical model of an MIMO-channel for ultrasonic data transmission systems through metal barriers. Unlike classical hydroacoustic or radio channels, the propagation of elastic waves in a bounded plate is accompanied by the interference of bulk, lateral, and surface waves. The proposed analytical expression for the channel transfer function takes into account three energy transfer mechanisms: direct wave, lateral wave, and the zero-order dispersive Lamb wave. The obtained result allows estimating the spatio-temporal structure of a multipath MIMO-channel in a metal barrier.

Key words: *ultrasonic communication, acoustic transformer, MIMO, lateral wave, transmission through metal*

Пусть имеется бесконечная плоскопараллельная пластина толщиной h , разделяющая две среды (например, воздух-металл-воздух). На одной стороне пластины размещена решетка из $N_t \in \mathbb{N}$ пьезоэлектрических излучателей, на другой – решетка из $N_r \in \mathbb{N}$ приемных. Пьезоэлектрические преобразователи располагаются попарно соосно и возбуждают волну, распространяющуюся по нормали к поверхности пластины. В этом случае в барьере возбуждается преимущественно продольная волна. Однако, даже

при таком возбуждении, в реальных условиях появляются поперечные компоненты и моды волн Лэмба [1], которые влияют на канал и которые необходимо учитывать.

В отличие от радиоканала [2], где преобладает многолучевое отражение от случайных рассеивателей, в канале акустического трансформатора могут присутствовать [3] следующие основные компоненты: прямая продольная, латеральная волны и волна Лэмба.

Принятые обозначения: c_p , c_s – скорости продольной и поперечной волн в материале барьера, d – толщина барьера, r_{ij} – расстояние между i -м приемником и j -м передатчиком, $\Gamma_{пп}(\omega)$ – передаточная функция пьезопреобразователя, учитывающая его резонансные свойства, $A_{\text{прям}}$, $A_{\text{лат}}$, $A_{\text{Лэмб}}$ – амплитудные коэффициенты, зависящие от акустических импедансов сред, α – коэффициент затухания, $k_i = \omega/c_i$ – волновое число, $\mathbf{n}(t)$ – комплексный случайный гауссовский вектор шумов.

1. Типы волн, участвующие в формировании канала

Прямая волна, представляет собой волну, в которой частицы среды колеблются вдоль направления распространения со скоростью c_p . Передаточная функция такой волны может быть представлена в следующем аналитическом виде [4]:

$$H^{\text{прям}}(\omega) = \frac{A_{\text{прям}}}{r} \cdot \Gamma_{пп}(\omega) \cdot \exp(-j\alpha_p r) \cdot \exp(-jk_p r). \quad (1)$$

$A_{\text{прям}}$ представляет собой произведение коэффициентов прохождения ультразвука на границах «пьезокерамика-металл» и обратно. $\Gamma_{пп}(\omega)$ – комплексный коэффициент электроакустического преобразования, определяемый физическими параметрами пьезоизлучателя, в частности резонансной частотой и добротностью.

Следует отметить, что даже при нормальной ориентации пьезоэлектрического преобразователя возбуждаемое им акустическое поле имеет конечную угловую апертуру, обусловленную конечными размерами излучающей поверхности. В результате часть спектра пространственных гармоник падает на границу раздела двух сред под различными углами, в том числе и критическими, что приводит к возбуждению латеральной волны, распространяющейся вдоль поверхности пластины. Такие волны, называемые латеральными, характеризуются меньшими потерями на больших расстояниях, и их передаточная функция в рамках приближения эффективной поверхностной моды может быть записана в виде выражения (2)

$$H^{\text{лат}}(\omega) = A_{\text{лат}} \cdot \exp(-\alpha_{\text{лат}} r) \cdot \exp(-jk_{\text{лат}} r) \quad (2)$$

Возбуждение мод Лэмба обусловлено наличием в поле излучателя пространственных гармоник с ненулевой продольной компонентой волнового числа [5]. В пластинах основной вклад на средних расстояниях дают направляемый моды S_0 и A_0 и высшие гармоники волн Лэмба. Для произвольной моды волны Лэмба выражение для передаточной функции будет иметь вид (3):

$$H_m^{\text{Лэмб}}(\omega) = A_m \cdot \exp(-\alpha_m r) \cdot \exp(-jk_m(\omega)r). \quad (3)$$

Решение уравнения (4) определяют дисперсионные зависимости волновых чисел $k_m(\omega)$ для упругой пластины толщиной d как для симметричных, так и для антисимметричных мод волн Лэмба.

$$\frac{\tan(qd/2)}{\tan(pd/2)} = -\frac{4k^2 pq}{(p^2 - q^2)^2}, \quad (4)$$

где

$$p^2 = \frac{\omega^2}{c_p^2} - k^2, q^2 = \frac{\omega^2}{c_s^2} - k^2.$$

Решения уравнения (4) определяют дисперсионные зависимости $k_m(\omega)$ симметричных и антисимметричных мод волн Лэмба, которые входят в выражение (3).

2. Математическая модель ММО-канала

Определим вектор передаваемых сигналов в виде

$$\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_{N_t}(t)]^T.$$

Тогда сигнал на входе приемного пьезопреобразователя описывается следующим выражением

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{H}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{n}(t).$$

Определим координаты расположения передающих ($r_{tx} = r_i$) и приемных преобразователей ($r_{rx} = r_j$). В этом случае расстояние между i -м приемником и j -м передатчиком будет определяться как

$$r_{ij} = |r_i - r_j|.$$

Далее, используя выражения (1-3) представим аналитическую форму записи элемента матрицы канала ММО

$$H_{ij}(\omega) = \Gamma_{пп}(\omega) \left[\frac{A_{\text{прям}}}{r_{ij}} \cdot \exp(-(\alpha_p + jk_p)r_{ij}) + A_{\text{лат}} \cdot \exp(-(\alpha_s + jk_s)r_{ij}) \right] + \\ + \Gamma_{пп}(\omega) \left[\sum_{m=1}^M A_{\text{лат}} \cdot \exp(-(\alpha_m + jk_m)r_{ij}) \right].$$

Отметим, что каждая составляющая выражения для $H_{ij}(\omega)$ имеет собственные пространственные корреляционные и дисперсионные характеристики.

3. Обсуждение

Предложенная модель канала отражает физическую природу ультразвукового канала передачи через металлические барьеры. К основным особенностям такого канала необходимо отнести следующие:

1. Наличие нескольких механизмов переноса энергии, формирующих многолучевую структуру канала.
2. Частотная дисперсия волн Лэмба вызывает частотную интерференционную структуру в канале.
3. Пространственная структура поля определит корреляцию между элементами матрицы канала.
4. В отличие от классических радиоканалов значительную роль играют направленные моды, которые могут распространяться на большие расстояния при малом затухании.

С физической точки зрения металлическая пластина в рассматриваемой системе может быть интерпретирована как многомодовый акустический волновод. Возбуждение пьезоэлектрическими преобразователями приводит к формированию суперпозиции различных пространственных мод упругих колебаний (объемных, латеральных и направляемых). Решетки передающих и приемных преобразователей в этом случае выполняют роль пространственных портов возбуждения и приема этих мод, что приводит к формированию матрицы ММО-канала. Таким образом, распространение сигнала через барьер можно рассматривать как многомодовую передачу энергии в акустическом волноводе с пространственным мультиплексированием.

Заключение

Предложена обобщенная модель ММО-канала акустического трансформатора. Модель учитывает вклад прямой волны, латеральной волны и волн Лэмба при передаче информации. Получено аналитическое пред-

ставление элементов матрицы канала, позволяющее проводить анализ пространственных характеристик системы и исследовать влияние конфигурации пьезоэлектрических преобразователей на параметры передачи.

Разработанная модель может быть использована при проектировании систем ультразвуковой связи и разработке алгоритмов обработки сигналов в ММО-системах для беспроводной передачи данных через металлические барьеры.

Список используемых источников

1. Бреховских Л. М., Годин О. А. Акустика слоистых сред. М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1989. 416 с.
2. F. Gómez-Cuba, U. Tarrío-Pinazas and N. González-Prelcic, Geometry-Enhanced 3GPP Multipath Channel Model for Bistatic ISAC Research // IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 75. N 7. PP. 13587-13603, July 2026. DOI: 10.1109/TVT.2026.3659204.
3. J. Zhang, Z. Yu, H. Yang, M. Wu and J. Yang, "Wireless communication using ultrasound through metal barriers: Experiment and analysis," 2015 10th International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS), Singapore, 2015, PP. 1-5, DOI: 10.1109/ICICS.2015.7459888.
4. Качнов А. В., Прасолов А. А., Туманова Е. И. Исследование характеристик канала акустического трансформатора с учетом многократных переотражений от границ барьера // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО-2025): сб. науч. ст. XIV Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 2 т. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2025. С. 128–133. EDN: QKYQAU.
5. Гапоненко С. О., Кондратьев А. Е., Мустафина Г. Р. Построение математической модели распространения волн Лэмба в стальном трубопроводе с защитным наружным покрытием // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. №. 4. С. 3-15. DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-4-3-15 EDN: FGMCOZ.

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры ЦТМ СПбГУТ, кандидатом технических наук Е. И. Тумановой.

УДК 534.78:004.94

ИНТЕРАКТИВНЫЕ ЗВУКОВЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ И ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А. В. Круглова (студент группы МТВ-2531, СПбГУТ), kruglova.av@sut.ru

В работе рассматривается проблема недостаточной интеграции звука в интерактивные образовательные среды, несмотря на его непосредственную связь с физическими колебательными процессами. Проведен анализ существующих решений, включая образовательные симуляции и интерактивные звуковые инсталляции, выявивший разрыв между визуальным моделированием и аудиальным представлением. Предложены принципы проектирования интерактивных звуковых образовательных систем, обеспечивающих синхронное изменение физических параметров, визуализации и звука. Описан прототип среды, моделирующей поведение резонатора, в которой изменение параметров влияет на частоту колебаний и звуковые характеристики. Обоснован выбор метода генерации звука, основанного на использовании аудиосэмплов и изменении высоты тона.

интерактивные среды, звуковые инсталляции, сонификация, резонатор, синтез звука, образовательные технологии, физическое моделирование

INTERACTIVE SOUND-BASED EDUCATIONAL ENVIRONMENTS: COMPARATIVE ANALYSIS OF EXISTING SOLUTIONS AND DESIGN PRINCIPLES

Kruglova A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper addresses the problem of insufficient integration of sound into interactive educational environments, despite its direct relation to physical oscillatory processes. A comparative analysis of existing solutions, including physics simulations and interactive sound installations, reveals a gap between visual modeling and auditory representation. Based on this analysis, a set of design principles for interactive sound-based educational systems is proposed. A prototype environment modeling a resonator is described, where changes in physical parameters affect both visual behavior and sound characteristics. The sound generation method is based on sample playback with pitch modification, which preserves spectral properties and ensures perceptual realism.

Key words: *interactive environments, sound synthesis, sonification, resonator, physics education, digital audio, simulation, acoustic modeling*

Современные образовательные технологии активно используют интерактивные среды для объяснения физических процессов. Чаще всего это визуальные симуляции, в которых пользователь может менять параметры

и наблюдать результат. Однако звук, несмотря на его прямую связь с колебаниями и волнами, в таких системах используется редко или играет второстепенную роль.

В то же время в области медиа-искусства существуют интерактивные звуковые инсталляции, где звук является главным элементом взаимодействия. Такие системы создают эффект погружения и позволяют пользователю влиять на звуковую среду. Однако они, как правило, не объясняют физическую природу звука и не используют математические модели.

Таким образом, возникает противоречие: образовательные среды показывают физику, но почти не используют звук, а звуковые инсталляции работают со звуком, но не объясняют физику его возникновения.

Теоретической основой данного исследования являются работы в области сонификации и аудиального взаимодействия. В частности, в книге Томаса Хермана, Энди Ханта и Джона Нейхоффа «The Sonification Handbook» рассматривается представление данных через звук и его связь с параметрами системы [1].

В работе Уильяма В. Гейвера звук рассматривается как средство передачи информации о действиях и событиях [2].

Кроме того, в статье В. Фресса, М. Вандерли и К. Гуаставино анализируются интерактивные звуковые инсталляции и способы взаимодействия пользователя с ними [3].

Для анализа текущего состояния области были рассмотрены существующие интерактивные системы. Одним из наиболее известных решений является «PhET Interactive Simulations» [4, 5], представляющая собой набор образовательных симуляций. Несмотря на высокую наглядность, звук в них используется ограниченно. Похожим образом работает среда «Algodoo» [6], которая позволяет моделировать физические процессы в интерактивной форме, но не включает акустические явления. В симуляциях «Falstad» [7] основной акцент также сделан на визуализацию, а приложение «Phyphox» [8, 9] предоставляет инструменты для экспериментов, но не включает синтез звука.

С другой стороны, системы работы со звуком, такие как «Max/MSP» [10] и «Pure Data» [11], позволяют создавать сложные интерактивные аудиосистемы, однако требуют специализированных знаний и не ориентированы на обучение физике.

В российской практике интерактивные звуковые решения представлены в проектах Термен-центра [12], а также в работах Н. Ю. Хруста [13],

где используются стохастические методы генерации звука. Современные аудиовизуальные инсталляции демонстрируются на фестивале «Gamma Festival» [14]. Однако данные системы ориентированы преимущественно на художественный опыт и не используют физическое моделирование.

Для наглядного сравнения рассмотренных систем была составлена таблица. Сравнение выполнено по следующим критериям: наличие физической модели, использование звука, уровень интерактивности, образовательная направленность, особенности и ограничения системы.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение существующих интерактивных сред

Система	Страна	Физическая модель	Звук	Интерактивность	Обучение	Особенности и ограничения
PhET	США	+	частично	+	+	звук вторичен
Algodoo	ЕС	+	-	+	частично	нет акустики
Falstad	США	+	-	+	частично	визуальный акцент
Phyphox	Германия	+	-	+	+	нет синтеза звука
Max/MSP	США	-	+	+	-	нет физики
Pure Data	межд.	-	+	+	-	сложность
Термен-центр	Россия	-	+	+	-	нет модели
Хруст	Россия	-	+	+	-	стохастичность
Gamma Festival	Россия	-	+	+	-	художественная направленность

Анализ показывает, что в рассмотренных системах не реализовано одновременное объединение физического моделирования, звукового синтеза и интерактивного управления в образовательном контексте.

На основе этого формулируются принципы проектирования интерактивных звуковых образовательных сред: звук должен напрямую зависеть от параметров модели; визуальные и звуковые изменения должны происходить синхронно; пользователь должен иметь возможность непосредственно воздействовать на объект; математическая формула должна изменяться в реальном времени; система должна учитывать процессы затухания.

В соответствии с данными принципами разработан прототип интерактивной среды, моделирующий поведение резонатора в виде металлического стержня. Пользователь изменяет параметры системы и инициирует колебания объекта.

Собственная частота резонатора определяется выражением:

$$f \approx \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

где E – модуль упругости материала, ρ – его плотность, L – характерный размер объекта (например, длина стержня).

Изменение параметров приводит к изменению частоты, визуального поведения и звука.

Генерация звука реализована с использованием волнового синтеза: воспроизводится записанная форма сигнала удара по металлическому объекту, а изменение высоты звука достигается за счет изменения скорости воспроизведения. Такой подход позволяет сохранить спектральные особенности реального звука и обеспечивает более естественное звучание по сравнению с простыми гармоническими моделями. В отличие от синусоидального сигнала, содержащего одну частоту, реальный звук определяется спектром собственных колебаний [15].

Амплитуда колебаний изменяется по экспоненциальному закону:

$$A(t) = A_0 e^{-\beta t}$$

где $A(t)$ – амплитуда колебаний в момент времени t , A_0 – начальная амплитуда, β – коэффициент затухания, характеризующий скорость потери энергии системой, t – время.

Коэффициент затухания β определяет скорость уменьшения амплитуды колебаний и длительность звучания: при больших значениях β колебания быстро затухают, при малых – сохраняются дольше. В рамках разработанной модели значение β подбирается эмпирически в зависимости от требуемого характера звука и задается как настраиваемый параметр, что позволяет имитировать различные условия затухания.

Разработанная модель реализована в среде Unity и представляет собой интерактивный прототип резонатора в виде металлического стержня. Пользователь может изменять параметры системы – длину стержня L , модуль упругости материала E и плотность ρ . После этого система в реальном времени пересчитывает собственную частоту колебаний по формуле.

Взаимодействие осуществляется посредством прямого воздействия на объект: при нажатии на стержень инициируются колебания, визуализируемые через масштабирование геометрии объекта, и одновременно воспроизводится звук соответствующей частоты.

Параметры модели задаются в безразмерной (нормированной) форме, при которой сохраняется функциональная зависимость между величинами, но численные значения масштабируются для удобства интерактивного управления и восприятия. Такой подход широко применяется в моделировании и позволяет сосредоточиться на характере зависимости между параметрами, не перегружая пользователя реальными диапазонами физических величин.

Изменение параметров приводит к синхронному изменению трех компонентов: численного значения частоты, визуального поведения резонатора и воспринимаемой высоты звука.

Следует отметить, что используемая модель является упрощенной и не учитывает сложную структуру реальных спектров, что открывает возможности для дальнейшего развития системы.

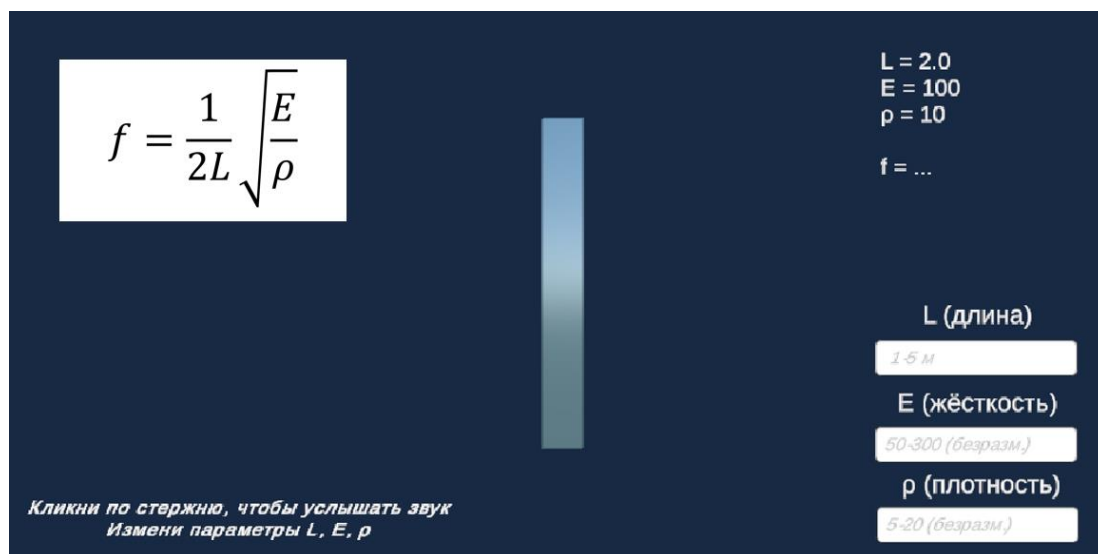


Рис. 1. Интерфейс прототипа интерактивного резонатора в среде Unity

Научная новизна работы заключается в объединении физической модели, звукового синтеза и интерактивного управления в единой образовательной среде, обеспечивающей синхронное восприятие визуальных и аудиальных изменений.

Таким образом, предложенный подход позволяет сформировать целостное представление о взаимосвязи физических параметров и акустических явлений.

В дальнейшем планируется расширить модель, добавив систему из нескольких резонаторов, например, в виде виртуального металлофона, где пластины разной длины формируют набор звуков разной высоты. Это позволит наглядно показать связь длины объекта и высоты звука на уровне простых музыкальных интервалов.

Также предполагается реализовать выбор материала через изменение модуля упругости и плотности, что позволит исследовать влияние свойств материала на звук.

Кроме того, планируется развитие звуковой модели и анализ того, как различные методы синтеза влияют на восприятие пользователем физических закономерностей.

Список используемых источников

1. Hermann T., Hunt A., Neuhoff J. The Sonification Handbook. Berlin: Logos Verlag, 2011. P. 586.
2. Gaver W. W. Auditory Icons: Using Sound in Computer Interfaces // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 1993. PP. 1–8.
3. Fraisse V., Wanderley M. M., Guastavino C. A Comprehensive Framework for Describing Interactive Sound Installations // Multimodal Technologies and Interaction. 2021. Vol. 5. № 4. Art. 19.
4. Perkins K., Adams W., Dubson M. et al. PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics // The Physics Teacher. 2006. Vol. 44. № 1.
5. PhET Interactive Simulations. URL: <https://phet.colorado.edu> (дата обращения: 14.04.2026).
6. Algodoo. URL: <https://www.algodoo.com> (дата обращения: 14.04.2026).
7. Falstad Physics Simulations. URL: <https://falstad.com> (дата обращения: 14.04.2026).
8. Staacks S., Hütz S., Heinke H., Stampfer C. Advanced Tools for Smartphone-Based Experiments: phyphox // Physics Education. 2018. Vol. 53. № 4.
9. phyphox. URL: <https://phyphox.org> (дата обращения: 14.04.2026).
10. Max/MSP. URL: <https://cycling74.com/products/max> (дата обращения: 14.04.2026).
11. Pure Data. URL: <https://puredata.info> (дата обращения: 14.04.2026).
12. Термен-центр. URL: <https://theremin.ru> (дата обращения: 14.04.2026).
13. Хруст Н. Ю. Реальная алеаторика в интерактивной звуковой инсталляции // Вестник Академии Русского балета им. А. Я. Вагановой. 2018. № 4. С. 142-164.
14. Gamma Festival. URL: <https://gammafestival.ru> (дата обращения: 14.04.2026).
15. Roads C. The Computer Music Tutorial. Cambridge: MIT Press, 1996. PP. 513-520.

Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем кафедры ЦТМ СПбГУТ О. А. Свиной.

УДК 004.451

РАСШИРЕННАЯ МОДЕЛЬ GITOPS ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ KUBERNETES

А. В. Марочкина (к.т.н., доцент, доцент кафедры СС и ПД, СПбГУТ)

Л. А. Тимофеев (студент группы ИКТИ-45м, СПбГУТ), timofeev.la@sut.ru

Е. А. Чигвинцева (студент группы ИКТИ-45м, СПбГУТ)

В работе рассматриваются ограничения классического подхода GitOps при управлении сложными и динамическими инфраструктурными системами. Предлагается расширенная модель GitOps, включающая гибридный слой адаптивной логики, обеспечивающий обработку событий, контроль политик и оркестрацию сложных сценариев развертывания. Описаны архитектурные компоненты решения и варианты его реализации на базе существующих инструментов.

расширенная модель GitOps, Kubernetes, развертывание, автоматизация инфраструктуры

EXTENDED GITOPS MODEL FOR MANAGING KUBERNETES DEPLOYMENT PROCESSES

Marochkina A., Timofeev L., Chigvintseva E.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper examines the limitations of the classical GitOps approach when managing complex and dynamic infrastructure systems. An extended GitOps model is proposed, incorporating a hybrid adaptive logic layer that facilitates event processing, policy control, and the orchestration of complex deployment scenarios. The architectural components of the solution and implementation options based on existing tools are described.

Key words: extended GitOps model, Kubernetes, deployment, infrastructure automation

Современные программные системы отличаются высокой архитектурной сложностью, обусловленной многоуровневой абстракцией. К числу основных факторов, порождающих эту сложность, относятся контейнеризация, изоляция компонентов, масштабирование, оркестрация, а также подключение внешних сервисов – например, для сбора логов или хранения данных. Это приводит к значительному усложнению процессов управления инфраструктурой. В условиях непрерывных изменений возникает потребность в единообразии операционной среды, а также в возможности ее отслеживания и последующего воспроизведения. Для решения вышеописанной проблемы используют подход GitOps [1], который позволяет устранить дрейф конфигураций, защитить кластер от прямых изменений и упростить откат, делая Git единым источником правды о состоянии инфраструктуры [2, 3].

Однако при применении в реальных системах с высокой степенью динамики он сталкивается с рядом ограничений, требующих архитектурных решений.

Классическая модель GitOps предполагает наличие декларативного описания инфраструктуры в системе контроля версий Git, автоматическую синхронизацию фактического состояния с желаемым, а также применение управляющих контроллеров. Однако, несмотря на очевидные достоинства, у данного подхода выявляется ряд ограничений:

1. Отсутствие реактивности – система не учитывает внешние события, если они не зафиксированы в Git;
2. Недостаточная выразительность логики – невозможность описать сложные условия выполнения операций;
3. Ограниченность сценариев развертывания – линейная модель неприменима к многостадийным и ветвящимся процессам.

Таким образом, классический GitOps эффективен в статических или слабо динамичных системах, но требует расширения для использования в средах с высокой изменчивостью. Вышеперечисленные ограничения становятся более значимым по мере усложнения целевых окружений.

Благодаря детальному изучению принципов GitOps, представленных в книге [4], включая анализ различных направлений этого подхода и типичных ошибок при его внедрении, были выделены ключевые ограничения классической модели, не позволяющие эффективно управлять сложными динамическими процессами развертывания. На основе этих наблюдений предлагается расширенная архитектура, дополненная гибридным слоем управления.

Итоговая архитектура подхода:

- слой фактического состояния инфраструктуры;
- слой синхронизации и контроля;
- декларативный слой;
- гибридный слой.

Ключевое отличие – перенос части логики принятия решений из Git в гибкий и легко управляемый слой.

Гибридный слой представляет собой композицию взаимосвязанных подсистем:

1. Модуль предварительной и последующей обработки: Pre/Post hooks – обеспечивает выполнение логики до и после синхронизации.

Функции:

- валидация конфигураций;

- проверка доступности зависимостей;
- анализ состояния системы после развертывания;
- интеграция с системами уведомлений.

2. Модуль политик: Policy layer – реализует механизм декларативного контроля на основе правил.

Функции:

- использование формальных политик;
- поддержка контекстных условий развертывания;
- возможность блокировки или модификации развертывания.

3. Событийно-ориентированный модуль: Event driven – обеспечивает реакцию системы на внешние и внутренние события.

Функции:

- системы мониторинга;
- контейнерные registry;
- CI/CD пайплайны;
- пользовательские команды.

4. Модуль управления сценариями: Workflow engine – позволяет описывать сложные сценарии развертывания.

Функции:

- последовательные и параллельные операции;
- условные переходы;
- повторные попытки и стратегии отката;
- условно зависимые деплои.

Архитектурное решение о способе реализации гибридного слоя GitOps не является универсальным и должно приниматься с учетом контекстных факторов, таких как масштаб инфраструктуры, критичность отказов, зрелость DevOps-процессов и кадровый потенциал организации [5].

Облегченная версия реализации дополнительного слоя GitOps обеспечивает низкий порог входа, интуитивно понятный интерфейс с внутренней системой контроля доступа и быстрый рост инфраструктуры. В ее основе используется контроллер ArgoCD. Модуль предварительной и последующей обработки реализуется с использованием встроенных функций: PreSync, PostSync, Syncfail. Модуль политик – с помощью Open Policy Agent. Событийно-ориентированный модуль – через выстроенные в систему Webhooks и ArgoEvents. Модуль управления сценариями использует выстроенный ArgoWorkflow.

Углубленная версия реализации дополнительного слоя GitOps подходит для сложных архитектурных решений, требующих высокую степень

безопасности, четкой декларативности и строгого соблюдения версионирования. Вышеперечисленные характеристики обеспечиваются системой на основе FluxCD с добавлением сторонних программных обеспечений. Модуль предварительной и последующей обработки использует pipeline инструменты, такие как: GitHub Actions, GitLab CI, Slack. Модуль политик также может быть реализован через Open Policy Agent. Событийно-ориентированный модуль использует встроенный Webhooks или внешние алерты-триггеры. Модуль управления сценариями использует Flagger или Tekton.

Таким образом предложенный подход имеет ряд преимуществ:

- повышение адаптивности системы;
- поддержка сложных сценариев развертывания;
- реакция на внешние события в реальном времени;
- усиление контроля и безопасности;
- снижение риска неконсистентных состояний.

В работе предложена расширенная модель GitOps, ориентированная на использование в динамических инфраструктурных системах. Добавление гибридного слоя позволяет устранить ограничения классического подхода и обеспечить более гибкое и надежное управление процессами развертывания.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на формализацию модели и оценку ее эффективности в реальных продуктовых средах.

Список используемых источников

1. Beetz F., Harrer S. GitOps: The Evolution of DevOps? // IEEE Software. 2022. Vol. 39. № 4. P. 70–75. DOI: 10.1109/MS.2021.3119106.
2. Ramadoni, Utami E., Fatta H. A. Analysis on the Use of Declarative and Pull-based Deployment Models on GitOps Using Argo CD // 2021 4th International Conference on Information and Communications Technology (ICOIAC), Yogyakarta, Indonesia, 2021. P. 186–191. DOI: 10.1109/ICOIAC53268.2021.9563984.
3. Shrestha R., Nur Ali A. A. Configuration Management in Kubernetes Environments: A GitOps Approach // 2024 IEEE/ACM 17th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC), Sharjah, United Arab Emirates, 2024. PP. 497–502. DOI: 10.1109/UCC63386.2024.00077.
4. Feuling B. Repeatability, Reliability, and Scalability through GitOps: Continuous delivery and deployment codified. Birmingham: Packt Publishing, 2021. 292 с. ISBN: 978-1-80181-779-4.
5. SFEIR Institute. ArgoCD vs FluxCD: Which GitOps Tool to Choose. 2026. URL: <https://institute.sfeir.com/en/kubernetes-training/argocd-vs-fluxcd-tool-gitops-kubernetes/> (дата обращения: 30.04.2026).

УДК 621.396.969

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МЕТОДОМ РАДИООТПЕЧАТКОВ

А. С. Павлов (студент группы МБК-2581, СПбГУТ), pavlov1.as@sut.ru
Г. А. Фокин (д.т.н., доцент, заведующий кафедрой БТС СПбГУТ),
fokin.ga@sut.ru

В работе рассматриваются базовые принципы организации и работы корреляционной базы данных, которая выступает центральным элементом метода радиоотпечатков для определения местоположения устройств. Проанализированы основные форматы хранения эталонных сигнатур. Подробно исследован эмпирический способ наполнения корреляционной базы данных, включая методики сбора радиопараметров и их географическую привязку.

метод радиоотпечатка, корреляционная база данных, позиционирование

FUNDAMENTALS OF BUILDING AND OPERATING A CORRELATION DATABASE FOR POSITIONING TASKS BY MEANS OF THE RADIO FINGERPRINT METHOD

Pavlov A., Fokin G.
 The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper examines the basic principles of organizing and operating a correlation database, which is the central element of the radio fingerprinting method for device positioning. The main formats for storing reference signatures are analyzed. The empirical method of populating the correlation database, including techniques for collecting radio parameters and their georeferencing, is studied in detail.

Key words: radio fingerprinting, correlation database, positioning

Беспроводные системы позиционирования, использующие метод радиоотпечатков (РО), опираются на предварительно собранную базу эталонных данных. Эта база, называемая корреляционной базой данных (КБД), содержит записи, каждая из которых связывает координаты некоторой точки пространства с набором характеристик радиосигнала, измеренных в этой точке. Как отмечается в фундаментальной работе [1], от того, насколько грамотно спроектирована корреляционная база данных (КБД), напрямую зависит итоговая точность и надежность позиционирования. В данной статье последовательно будет разобрано, какие типы структур используются для хранения

эталонов, как эти структуры влияют на вычислительные затраты, какими способами можно наполнить КБД данными, и в чем заключаются сильные и слабые стороны эмпирического подхода.

В простейшем случае запись содержит два поля: вектор измеренных параметров сигнала, который называют эталонным радиоотпечатком (ЭРО, r) и обозначают буквой r , а также координаты места, где этот вектор был получен. При этом возможны две особенности, усложняющие обработку. Первая особенность заключается в том, что одной паре координат может соответствовать несколько различных r . Это отражает естественную изменчивость радиоканала – даже при неподвижном приемнике уровень сигнала флуктуирует из-за многолучевости и интерференции. Вторая особенность состоит в том, что разные точки пространства могут давать очень похожие или даже одинаковые r . Это следствие ограниченной различительной способности радиотехнических параметров: если расстояние между двумя точками мало относительно масштаба замираний, их отпечатки становятся практически неразличимыми. Первая особенность считается полезной, так как она позволяет зафиксировать статистический разброс сигнала. Вторая же является неустраняемым недостатком характеристик беспроводной среды. Оба явления подробно описаны в работе [1].

КБД формируется на этапе, предшествующем реальной эксплуатации. Этот этап называют обучением или калибровкой. Источником данных для КБД могут служить расчетные модели распространения радиоволн (например, трассировка лучей), натурные измерения (выездные тесты), а также гибридные методы, сочетающие расчеты с выборочной коррекцией по замерам [2]. Выбор стратегии наполнения КБД влияет не только на трудоемкость ее создания, но и на алгоритм последующего сравнения целевого радиоотпечатка (ЦРО) с ЭРО, а значит – и на конечную точность позиционирования. В дальнейшем рассматривается только двумерное позиционирование в координатах x и y ; переход к трехмерному случаю с добавлением координаты z выполняется тривиальным добавлением третьей оси [1].

Способ размещения эталонных точек в пространстве определяет внутреннюю структуру КБД. Различают два основных варианта: нерегулярный список и регулярная сетка. В формате нерегулярного списка, который называют также индексированным списком, координаты каждого ЭРО хранятся явно и могут располагаться произвольным образом – никакой регулярной сетки не требуется. Запись с номером i задается выражением:

$$((x_i, y_i), r_i), \quad (1)$$

где x_i, y_i – координаты i -й записи, r_i – соответствующий вектор ЦРО.

Формула (1) показывает, что главное преимущество такого подхода – полная свобода расположения точек. Человек, который проводит сборку ЭРО? может сгущать сетку измерений в зонах быстрого изменения сигнала, например, у дверей или за углами, и разрежать ее в однородных по радио-обстановке областях. Именно поэтому формат индексированного списка чаще всего используется для КБД, построенных по реальным полевым измерениям. На открытой местности координаты каждой точки определяют с помощью приемника глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС-приемника). Внутри зданий, где спутниковый сигнал недоступен, привязку выполняют по оцифрованным поэтажным планам или с помощью систем локального позиционирования [1].

Если КБД организована как сетка или решетка, то эталонные координаты могут быть параметризованы. Такая структура КБД используется, когда применяется моделирование распространения. В этом случае нет необходимости явно хранить координаты, связанные с предсказанным уровнем сигнала, а вместо этого достаточно параметров, индексирующих связанные позиции. В равномерной сетке координаты ЭРО равномерно расположены. Расстояние между соседними эталонными координатами определяет шаг равномерной сетки или плоское разрешение. Рассмотрим двумерную КБД, и пусть позиции записей КБД определяются формулой:

$$(x, y) = (i\Delta x, j\Delta y), \quad (2)$$

где Δx , Δy – это расстояния между двумя соседними точками вдоль осей x и y соответственно.

Как видно из (2), координаты вычисляются через индексы ячеек и шаг сетки. В этом случае записи КБД могут быть определены с помощью следующего выражения:

$$\left((i, j), r_{i,j}\right) = ((i\Delta x + x_0, j\Delta y + y_0), r_{i,j}), \quad (3)$$

где x_0 , y_0 – начальная позиция, $r_{i,j}$ – соответствующий ЦРО, Δx , Δy – разрешение в плоскости.

Формула (3) включает начальную позицию, что позволяет сдвигать сетку относительно начала координат. Разрешение в двумерном пространстве должно быть сопоставимо с ожидаемой точностью метода позиционирования. Как показано в работе [1], выбор слишком малого шага согласно (2) и (3) приводит к избыточности данных, а слишком крупного – к потере точности. Оптимальное значение шага сетки, как эмпирически установлено в [1], лежит в диапазоне от полуметра до двух метров для большинства сценариев внутри помещений.

Существует возможность построения КБД полностью на основе полевых измерений. Обычно для этого требуется мобильная станция и способ (обычно встроенное программное обеспечение) собирать, обрабатывать и хранить измерения радиотехнического интерфейса, выполняемые мобильной станцией, а также позиции, где это происходит. Позиция может быть зарегистрирована с использованием ГНСС-приемника в случае измерений на открытой местности или с использованием карты для приложений, используемых внутри помещений. В ходе измерительных работ периодически собираются и сохраняются для дальнейшей обработки параметры, связанные с местоположением. В этом случае каждый элемент КБД представляет собой структуру, подобную той, что была в выражении (1) [1].

Радиочастотные параметры могут быть измерены либо мобильной станцией, либо сетью. Для каждого собранного набора радиочастотных сигнальных параметров также хранится истинная позиция мобильной станции. Эталонные координаты мобильной станции и измеренные радиочастотные сигнальные параметры составляют запись в КБД, которая может быть внутренне структурирована как индексированный список, описанный в выражении (1). КБД, построенные на основе полевых измерений, обычно обеспечивают наивысшую точность местоположения, поскольку они являются эмпирическими. Однако у такого подхода есть серьезный недостаток: такие базы могут быстро устаревать. Для поддержания эмпирических КБД в актуальном состоянии могут потребоваться частые модификации. Это особенно актуально для сетей масштаба города. В этих сетях драйв-тесты должны проводиться после любого изменения в элементах радиодоступа. Эти изменения (развертывание новых сот, изменения моделей антенн, азимута и наклона, увеличение или уменьшение мощности передатчика и т.д.) происходят постоянно, особенно в сотовых сетях. Некоторые вредные эффекты, связанные с использованием устаревших сетевых параметров в процессе сопоставления образов в сотовых сетях, были оценены в работах [1, 3, 4]. В частности, в [1] показано, что использование КБД, построенной на основе устаревших данных, может приводить к систематической ошибке позиционирования ЦРО, достигающей нескольких десятков метров.

Однако для систем позиционирования внутри помещений по методу РО использование КБД, построенных на основе измерений, может быть проще. Зона обслуживания, которую необходимо покрыть системой позиционирования, невелика (по сравнению с мегаполисом), и измерительная кампания также ограничена этой меньшей областью. Кроме того, КБД, построенные по результатам измерительных кампаний, лучше подходят

в этом случае главным образом из-за большей сложности внутренней среды помещений, что делает затруднительным точное моделирование распространения радиоволн.

Альтернативой такому подходу выступают эмпирические модели распространения. Они основаны на обширных полевых измерениях. В результате статистического анализа полевых измерений получаются параметрические уравнения потерь на трассе распространения. Эти параметры или коэффициенты могут быть скорректированы в некоторых заданных пределах, чтобы лучше представить конкретную среду распространения. Эмпирические модели менее требовательны к вычислительным ресурсам, чем детерминированные, и даже несмотря на то, что они обычно менее точны, чем детерминированные модели, они все же обеспечивают точность, сравнимую со средней точностью большинства методов радиоотпечатка для наружного позиционирования [1].

Ключевое отличие представленного подхода заключается в его опоре на натурные измерения. Детальное рассмотрение метода с использованием моделей распространения радиоволн планируется представить в следующей работе.

Таким образом, в данной статье рассмотрены фундаментальные аспекты проектирования КБД для метода РО. Проанализированы две основные структуры хранения ЭРО: индексированный список, задаваемый формулой (1), и регулярная сетка, описываемая выражениями (2) и (3). Показано, что выбор структуры определяется способом получения ЭРО: для натурных измерений удобен список, для модельных – сетка. Пространственное разрешение сетки должно быть согласовано с ожидаемой точностью позиционирования. Эмпирический способ наполнения КБД дает наилучшую точность, однако страдает от трудоемкости и быстрого устаревания при изменениях в сети.

Список используемых источников

1. Campos R. S., Lovisolo L. RF Positioning: Fundamentals, Applications, and Tools. Norwood: Artech House, 2015. 375 p. (Mobile Communications Series). ISBN 978-1-60807-816-5.
2. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G [монография] / Г. А. Фокин; СПбГУТ. СПб., 2021. 400 с.
3. Tyler J. App Inventor for Android: Build Your Own Apps—No Experience Required, 1st ed. John Wiley and Sons, 2011.
4. Deitel P., Deitel H., Deitel A., and Morgano M. Android for Programmers: An App-Driven Approach, 1st ed., ser. Deitel Developer Series. Pearson, 2012.

УДК 004.454

СБОРКА И УСТАНОВКА ДРАЙВЕРА UHD И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ FM-ПРИЕМНИКА В СРЕДЕ GNU RADIO

А. В. Паршин (студент группы РМ-32 СПбГУТ)

К. Е. Рютин (студент группы 2213А-24 СПбГУТ)

А. М. Тиора (студент группы РМ-32 СПбГУТ), tiora.am@sut.ru

Драйвер UHD (USRP Hardware Driver) представляет собой свободное и открытое программное обеспечение, предоставляющее унифицированный интерфейс для управления SDR-платформами семейства USRP. Несмотря на наличие стандартных установщиков, самостоятельная сборка драйвера из исходных кодов остается востребованной задачей, поскольку обеспечивает максимальную гибкость при развертывании на нетиповых вычислительных платформах, таких как системы на архитектуре ARM, и позволяет адаптировать окружение под специфические требования научных и инженерных задач. Целью настоящей методической статьи является детальное описание процесса самостоятельной сборки и установки драйвера UHD для SDR-платформы USRP на примере операционной системы Linux. Представленная методика является практически полезным руководством для студентов, инженеров-разработчиков и специалистов в области систем связи, планирующих использовать SDR-платформы USRP в составе исследовательских стендов и прототипов систем связи.

USRP, UHD, GNU Radio, SDR, FM-приемник

BUILDING AND INSTALLING THE UHD DRIVER AND EXPERIMENTAL TESTING OF AN FM RECEIVER IN THE GNU RADIO ENVIRONMENT

Parshin A., Ryutin K., Tiora A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The UHD (USRP Hardware Driver) is free and open-source software that provides a unified interface for controlling USRP-family SDR platforms. Despite the availability of standard installers, building the driver from source code remains a relevant task; it offers maximum flexibility when deploying on non-standard computing platforms—such as ARM-based systems—and allows the environment to be tailored to the specific requirements of scientific and engineering projects. This article provides a detailed description of the process for building and installing the UHD driver for USRP SDR platforms, using the Linux operating system as an example. The presented methodology serves as a practical guide for students, development engineers, and communications specialists planning to use USRP SDR platforms in research testbeds and communication system prototypes.

Key words: USRP, UHD, GNU Radio, SDR, FM receiver

Введение

В эпоху программно-определяемых радиосистем (SDR) GNU Radio остается одной из наиболее удобных платформ для разработки и экспериментов с радиосигналами. Одной из программно-аппаратных платформ для реализации SDR-устройств является USRP. Ее область применения включает, но не ограничивается: телекоммуникации и беспроводные системы, радиоразведка, радиолокация [1-5]. Настоящая статья посвящена пошаговой сборке и установке драйвера UHD для USRP, а также экспериментальной апробации полученного устройства в среде GNU Radio. Будут рассмотрены ключевые этапы настройки.

1. Устройства

Настоящее руководство применимо только к устройствам USRP X300, X310, B200/210/200mini/205mini/206mini, N200, N210.

2. Обновление и установка зависимостей

Перед сборкой UHD и GNU Radio необходимо убедиться, что все зависимости (программное обеспечение и библиотеки) предварительно установлены.

Перед установкой зависимостей следует сначала убедиться, что все пакеты, уже установленные в системе, имеют актуальные версии.

В системах Ubuntu следует выполнить команду:

```
sudo apt-get update
```

После выполнения обновления системы следует установить требуемые зависимости для UHD и GNU Radio. В системах Ubuntu 22.04 следует выполнить:

```
sudo apt-get -y install autoconf automake build-essential ccache cmake
cpufrequtils doxygen ethtool fort77 g++ gir1.2-gtk-3.0 git gobject-
introspection gpsd gpsd-clients inetutils-tools libasound2-dev libboost-
all-dev libcomedi-dev libcppunit-dev libfftw3-bin libfftw3-dev libfftw3-
doc libfontconfig1-dev libgmp-dev libgps-dev libgsl-dev liblog4cpp5-dev
libncurses5 libncurses5-dev libpulse-dev libqt5opengl5-dev libqwt-qt5-dev
libsdl1.2-dev libtool libudev-dev libusb-1.0-0 libusb-1.0-0-dev libusb-dev
libxi-dev libxrender-dev libzmq3-dev libzmq5 ncurses-bin python3-cheetah
python3-click python3-click-plugins python3-click-threading python3-dev
python3-docutils python3-gi python3-gi-cairo python3-gps python3-lxml
python3-mako python3-numpy python3-opengl python3-pyqt5 python3-requests
python3-scipy python3-setuptools python3-six python3-sphinx python3-yaml
python3-zmq python3-ruamel.yaml swig wget
```

После установки зависимостей следует выполнить перезагрузку системы. Если установка зависимостей завершается без ошибок, то можно приступить к сборке и установке UHD и GNU Radio.

3. Сборка и установка UHD из исходного кода

UHD является программным обеспечением с открытым исходным кодом и размещается на GitHub.

Существует несколько причин для сборки UHD и GNU Radio из исходного кода, особенно при разработке и прототипировании. Такой подход обеспечивает простой способ настройки расположения установки, а также позволяет устанавливать несколько версий параллельно и переключаться между ними.

Для сборки UHD из исходного кода необходимо клонировать репозиторий GitHub, переключиться на ветку или помеченный релиз репозитория, а затем выполнить сборку и установку.

На данном этапе необходимо убедиться, что ни одно устройство USRP не подключено к системе.

1) Клонирование репозитория

```
cd $HOME
mkdir workarea
cd workarea
git clone https://github.com/EttusResearch/uhd
cd uhd
git tag -l
git checkout v4.10.0.0-rc1
cd host
mkdir build
cd build
```

2) Сборка проекта с помощью Cmake

```
cmake ..
make
sudo make install
sudo ldconfig
```

На данном этапе UHD должен быть установлен и готов к использованию. Это можно быстро проверить без подключенного устройства USRP, выполнив команду:

```
uhd_find_devices
```

4. Загрузка образов ПЛИС для UHD

Загрузка образов ПЛИС для UHD может быть выполнена командой:

```
sudo uhd_images_downloader
```

Пример вывода для UHD 3.13.3.0:

```
Images destination: /usr/local/share/uhd/images
Downloading images from: http://files.ettus.com/binaries/images/uhd-images_003.010.003.000-release.zip
Downloading images to: /tmp/tmpm46JDg/uhd-images_003.010.003.000-release.zip
57009 kB / 57009 kB (100 %)
Images successfully installed to: /usr/local/share/uhd/images
```

5. Конфигурация USB

В Linux обработкой событий подключения и отключения USB занимается udev. Следует убедиться, что ни одно устройство USRP не подключено через USB во время выполнения этих команд.

```
cd $HOME/workarea/uhd/host/Utils
sudo cp uhd-usrp.rules /etc/udev/rules.d/
sudo udevadm control --reload-rules
sudo udevadm trigger
```

6. Подключение USRP

Установка UHD на данный момент должна быть завершена. На этом этапе следует подключить USRP к компьютеру. Если используется интерфейс USB, то необходимо открыть окно терминала и выполнить команду:

```
Lsusb
```

В списке USB-устройств должен отображаться USRP с VID 2500 и PID 0020, 0020, 0021, 0022, 0023 для устройств B200, B210, B200mini, B205mini, B206mini соответственно. Также следует выполнить команды:

```
uhd_find_devices
uhd_usrp_probe
```

7. Сборка и установка GNU Radio из исходного кода

GNU Radio – это фреймворк для цифровой обработки сигналов, в котором программа «собирается» из отдельных модулей. Есть большое количество уже готовых блоков, при желании также можно создавать свои собственные.

По аналогии со сборкой UHD, производится клонирование репозитория и его сборка:

```
git clone https://github.com/gnuradio/gnuradio
cd gnuradio
git checkout v3.10.12.0
```

```
mkdir build
cd build
cmake ../
make
sudo make install
```

И вновь обновим кэш общих библиотек:

```
sudo ldconfig
```

Теперь запускаем GNU Radio:

```
gnuradio-companion
```

8. Аprobация в среде GNU Radio

Для аprobации корректности работы установленного драйвера UHD и SDR-платформы USRP был разработан FM-приемник в среде модельно-ориентированного проектирования GNU Radio. Основными блоками в проекте являются: “UHD:USRP Source”, “Rational Resampler” и “WBFM Receiver”. Остальные – это либо блоки для вывода диаграмм, или блоки настройки переменных. Задача главных блоков соответственно: связь с физической платой USRP, изменение частоты отсчетов для связи блоков, демодуляция. Схема проекта представлена на рисунке 1.

Экспериментальный стенд, а также полученные временные и частотные диаграммы при приеме FM-сигнала с помощью USRP представлены соответственно на рисунке 2 и 3.

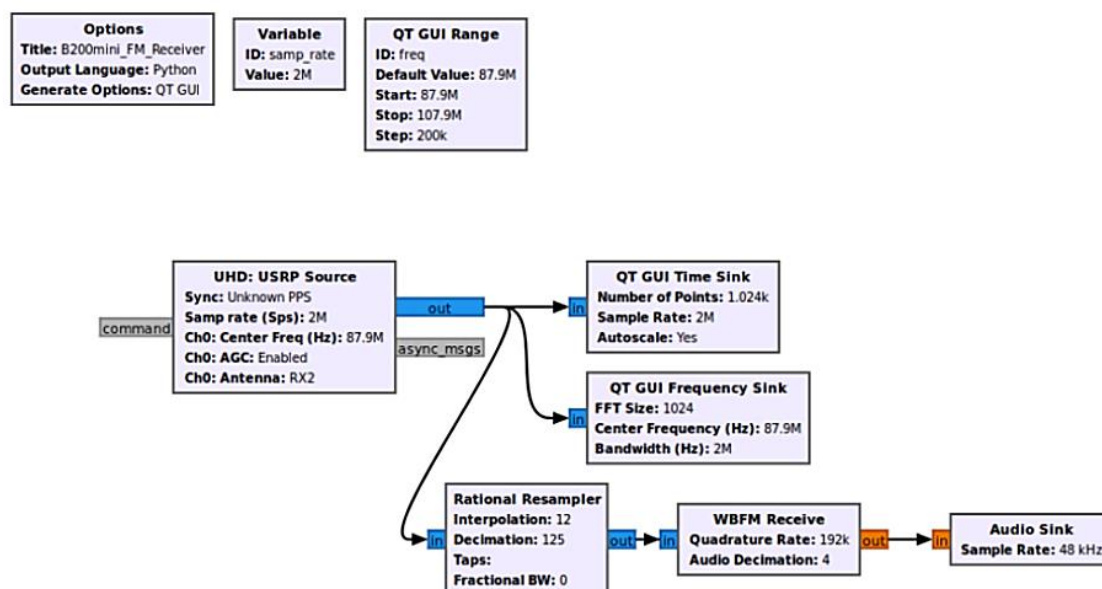


Рис. 1. Схема проекта приемника в GNU Radio

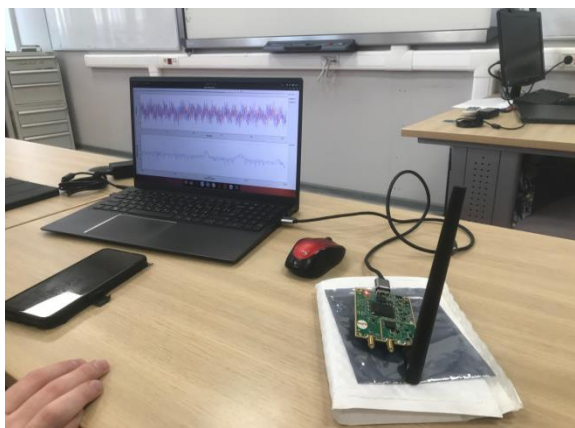


Рис. 2. Экспериментальный стенд

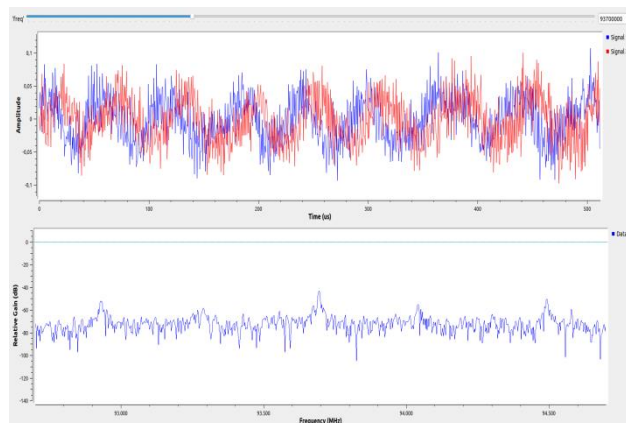


Рис. 3. Временная и частотные диаграммы

Заключение

Представленная работа является практически полезным руководством для студентов, инженеров-разработчиков и специалистов в области систем связи, планирующих использовать SDR-платформы USRP в составе исследовательских стендов и прототипов систем связи.

Список используемых источников

1. Фокин Г. А. Технологии программно-конфигурируемого радио. 2024. 316 с.
2. Фридт Ж.-М., Боэглэн Э. Проектирование систем связи на основе GNU Radio. 2025. 366 с.
3. Костин М. С., Полевода Ю. А., Коняшкин Г. В. Архитектурно-конфигурируемые SDR-технологии встраиваемых систем радиосвязи. 2025. 188 с.
4. GNU Radio – the Free and Open Software Radio Ecosystem. URL: <https://github.com/gnuradio/gnuradio> (дата обращения: 27.04.2026)
5. The USRP™ Hardware Driver Repository. URL: <https://github.com/EttusResearch/uhd> (дата обращения: 27.04.2026).

Статья представлена научным руководителем, профессором кафедры БТС СПбГУТ, доктором технических наук, доцентом Г. А. Фокиным.

УДК 621.391.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ CDMA-КАНАЛОВ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С OFDM

И. Б. Сединкин (студент группы ИКВТ-21 СПбГУТ), sedinkin.ib@sut.ru

В статье рассмотрены результаты моделирования помехоустойчивости каналов разработанной системы передачи данных с применением комбинированных технологий канального кодирования CDMA и OFDM. Модель предполагает применение K-канального CDMA-кодирования, расширяющего L-поточкового CDMA-кодирования и использование для передачи в распределенном пространстве время-частота $N \times M$ подканалов OFDM-технологии.

кодирование, системы передачи данных, расширение спектра, ортогональное частотное разделение, CDMA, OFDM

MODELING CDMA CHANNELS IN DATA TRANSMISSION SYSTEMS WITH OFDM

Sedinkin I.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article presents the results of modeling the noise immunity of channels in a data transmission system that employs a combination of CDMA and OFDM channel coding technologies. The model utilizes K-channel CDMA coding, L-stream CDMA spreading, and the transmission of data across an $N \times M$ time-frequency space using OFDM subchannels.

Key words: code division, data transmission systems, spread spectrum, orthogonal frequency division, CDMA, OFDM

Развитие перспективных сетей одновременно с требованиями новых телекоммуникационных услуг определяют необходимость совершенствования способов передачи данных и технических параметров сетей связи. Реализация этих требований приводит к повышению надежности передачи данных ценой усложнения систем передачи. Развитие и усовершенствование современных средств связи осуществляется внедрением сложных аппаратно-программных систем, снабженных необходимыми алгоритмами обработки сигналов, вследствие применения комбинированных способов модуляции и кодирования, автоматической регулировки усиления и других подсистем, повышающих качество связи [1].

В особенности это касается систем радиосвязи, передача данных в которых осуществляется по ненадежным каналам связи в условиях многолучевого распространения и значительного влияния межсимвольной интерференции [1, 2]. Это, в свою очередь, предъявляет особые требования к помехоустойчивости таких систем.

Данная статья представляет параметрическую модель многоканальной многопоточковой системы передачи данных с реализацией множественного доступа на основе кодового разделения каналов (CDMA) и кодового разделения потоков совместно с многочастотным мультиплексированием каналов (OFDM).

На рис. 1. приведена обобщенная структурная схема модели системы передачи данных с применением CDMA и OFDM.

Данные поступают на передатчик СПД по нескольким параллельным каналам. Данные каждого канала подвергаются расширению в кодере канальной расширяющей последовательности, то есть преобразованию исходных данных в соответствии с расширяющей последовательностью, представленной квазиортогональным кодом Голда.

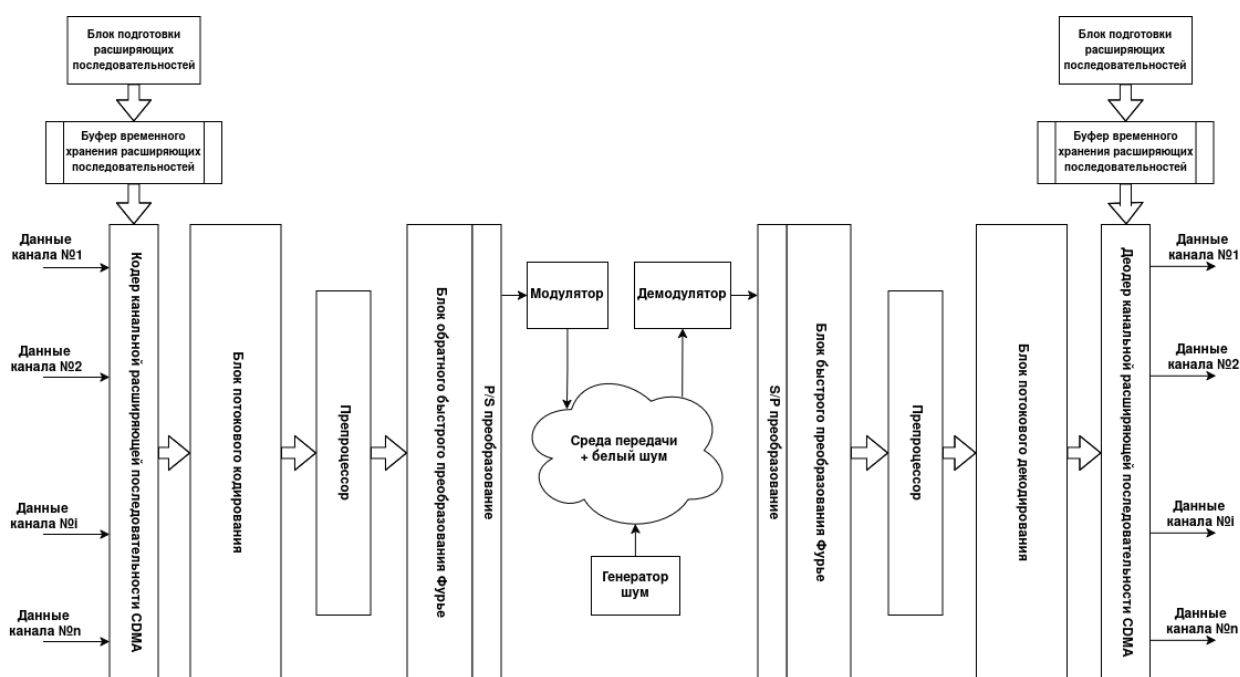


Рис. 1. Обобщенная структурная схема модели СПД

Это значит, что в передающей части модели каждый канальный символ представляется соответствующей расширяющей последовательностью чипов – наименьшей единицей передачи. Далее представленный чипами канальный символ дополнительно подвергается линейной потоковой свертке

с кодом Уолша [3] и подается для передачи на блок OFDM с предварительной обработкой в препроцессоре. Препроцессор выполняет преобразование Гильберта для вещественных кодированных потоковых сигналов, формирует комплексно-сопряженные пары этих сигналов и направляет их по шине в блок OFDM-модуляции. Сформированный OFDM-фрейм считывается последовательным регистром, начиная с 1 канала. К фрейму прикрепляется циклический префикс и через цифро-аналоговый преобразователь многочастотный сигнал поступает на каналный модулятор. Модель предполагает и реализует амплитудную модуляцию для радио или оптических каналов. Среда представлена традиционной канальной моделью с аддитивным регулируемым шумом.

Генератор шума вырабатывает нормально распределенный белый шум N и аддитивно воздействует на каналный сигнал в соответствии с задаваемым уровнем сигнал/помеха (SNR). Осуществляется прямая привязка отношения сигнал/шум к мощности выходного сигнала.

Приемная часть модели выполняет соответствующую обработку принятого приемником сигнала в обратном порядке следования преобразований.

Демодулятор принимает из среды передачи сигнал с шумом, выполняет амплитудную демодуляцию и подает последовательный амплитудно-демодулированный фрейм OFDM с циклическим префиксом через цифро-аналоговый преобразователь на блок последовательно-параллельного преобразования. В этом блоке формируется вещественный параллельный фрейм цифровых потоковых сигналов уже без циклического префикса.

Блок быстрого преобразования Фурье (БПФ) предназначен для выделения, частотной фильтрации и формирования параллельного набора потоковых сигналов СПД из OFDM-фрейма.

Препроцессор в приемнике выполняет амплитудные преобразования сигналов параллельных каналов OFDM в последовательные разделенные сигналы потоков и подает их по шине в блок потокового декодирования. Далее декодированные в блоке потокового декодирования (подвергнутые преобразованию Уолша) каналные сигналы поступают в каналные декодеры. После канального CDMA-декодирования восстановленные сигналы направляются в соответствующие каналы передачи данных для дальнейшей передачи по сетям связи.

ТАБЛИЦА 1. Параметры модели, используемые в ходе моделирования

Параметр	OFDM-QPSK	OFDM+C DMA(15)	OFDM+C DMA(31)	OFDM+C DMA(63)	OFDM+C DMA(127)	OFDM+C DMA(255)
Общее кол-во бит	20000	20000	20000	20000	20000	20000
Кол-во уникальных символов в канале	4	4	4	4	4	4
Кол-во бит на символ	2	2	2	2	2	2
Индекс OFDM	64	64	64	64	64	64
Кол-во потоков	-	4	4	4	4	4
Полином, порождающий ПСП-канала	-	x^4+x+1	$x^5+x^4+x^3+x^2+1$	$x^6+x^5+x^2+x+1$	$x^7+x^3+x^2+x+1$	$x^8+x^6+x^5+x+1$
Коэф. децимации	-	7	9	11	13	33
Коэф. расш. спектра (длина кода Голда)	-	15	31	63	127	255

Моделирование проводилось в среде компьютерной алгебры GNU Octave при значениях параметров модели, указанных в таблице 1.

На рис. 2 приведены итоговые графики битовых ошибок для сравнения помехоустойчивости каналов представляемой модели СПД при передаче данных для шести случаев, указанных в таблице 1 параметрах модели.

Здесь важно отметить несколько наблюдений.

Передача данных с применением прямого OFDM и канальной модуляции QPSK показывает существенно худшую помехоустойчивость качества связи по сравнению с комбинированными способами модуляции, реализованными в рассматриваемой модели.

В таблице 2 приведены значения сигнал/шум SNR в децибелах при соответствующих уровнях BER для разных коэффициентов расширения спектра.

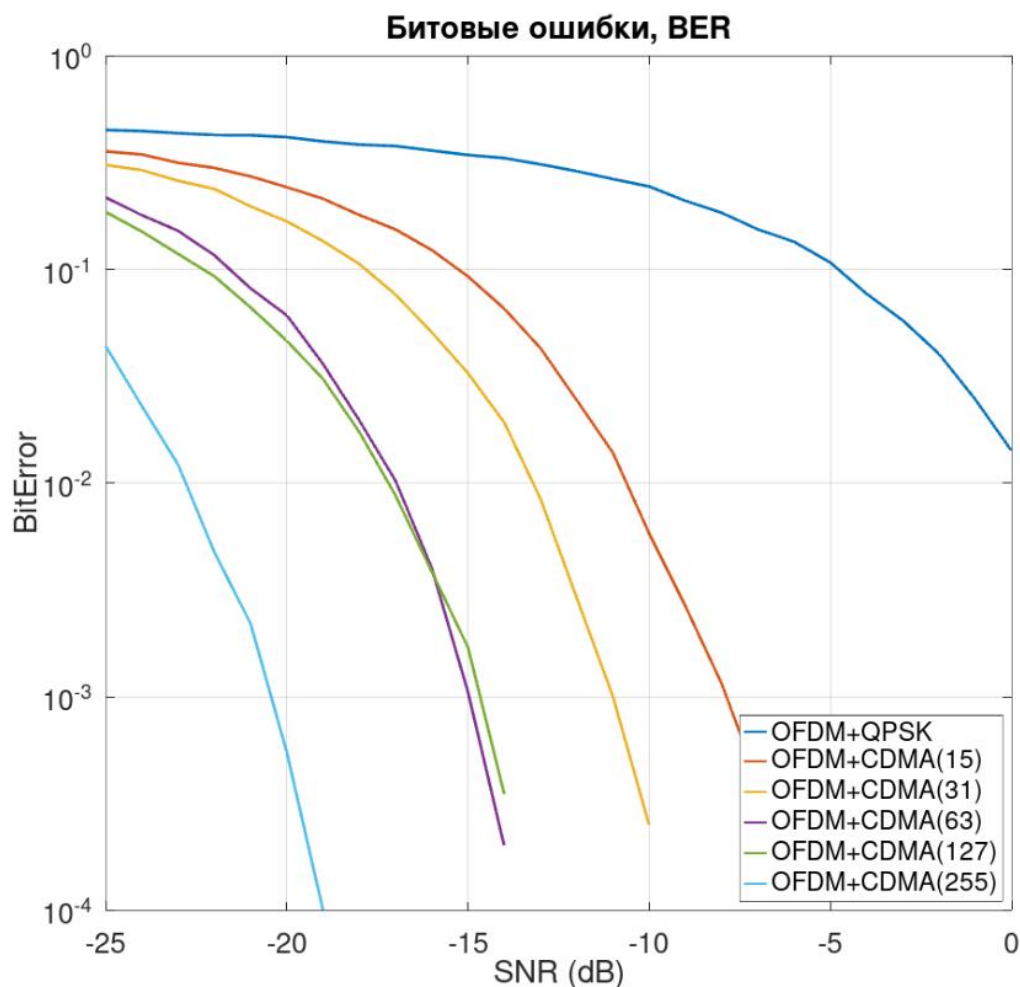


Рис. 2. Графики зависимости битовых ошибок от отношения сигнал/шум SNR в дБ

ТАБЛИЦА 2. Сводная таблица SNR для случаев применения CDMA

Коэффициент расширения спектра	SNR при BER = 10 ⁻² , дБ	SNR при BER = 10 ⁻³ , дБ
OFDM+CDMA(15)	-10.52	-7.80
OFDM+CDMA(31)	-13.14	-11.00
OFDM+CDMA(64)	-16.96	-14.94
OFDM+CDMA(127)	-17.15	-14.48
OFDM+CDMA(255)	-22.70	-20.27

Полученные результаты моделирования показывают предпочтительное применение длинных кодовых последовательностей для формирования канальных сигналов в классе ненадежных каналов передачи систем связи повышенной устойчивости.

Список используемых источников

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.: ил. Парал. тит. англ.

2. Нефедов В. И. Основы радиоэлектроники и связи: Учеб. пособие/В. И. Нефедов, А. С. Сигов; Под. ред. В. И. Неферова. М.: Высш. шк., 2009. 735 с.: ил.

3. Ахмед. Н., Рао К. Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов: Пер. с англ. / Под. ред. И. Б. Фоменко. М.: Связь, 1980. 248 с., ил.

*Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем кафедры
ССиПД СПбГУТ С. А. Владимировым.*

УДК 654.195

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПЕРЦЕПЦИОННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АУДИОКОНТЕНТА

С. А. Терентьева (студент группы Р-41м, СПбГУТ), terenteva.sa@sut.ru

В данной статье рассматривается разработка программного обеспечения для перцепционной оценки качества по методу Perceptual Evaluation of Audio Quality (PEAQ). Реализованы психоакустическая модель на основе быстрого преобразование Фурье и познавательная модель с помощью искусственной нейронной сети в программном обеспечении MATLAB. На основании работы полученных моделей, получены объективные оценки качества исследуемого аудиоконтента.

Perceptual Evaluation of Audio Quality, психоакустическая модель, быстрое преобразование Фурье, познавательная модель, нейронная сеть, MATLAB, объективная оценка качества

RESEARCH ON METHODS FOR PERCEPTUAL EVALUATION OF AUDIO CONTENT QUALITY

Terenteva S.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper discusses the development of software for perceptual quality assessment using the Perceptual Evaluation of Audio Quality (PEAQ) method. A psychoacoustic model based on the Fast Fourier Transform and a cognitive model implemented with an artificial neural network were developed in the MATLAB software environment. Based on the operation of the developed models, objective quality assessments of the analyzed audio content were obtained.

Key words: Perceptual Evaluation of Audio Quality, psychoacoustic model, Fast Fourier Transform, cognitive model, neural network, MATLAB, objective quality assessment

В настоящее время существуют три основных метода оценки качества звучания (МОК): традиционные методы объективной оценки качества (ТМОК), субъективные методы оценки качества и перцепционные методы объективной оценки качества (ПМОК). В таблице 1 представлен сравнительный анализ этих методов.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительная таблица методов оценки качества

Критерий	Традиционные методы	Субъективные методы	Перцепционные методы
Основа оценки	Физические параметры сигнала	Мнение слушателей	Моделирование слухового восприятия
Учет свойств слуха	Нет	Есть	Есть
Трудоемкость проведения	Низкая	Высокая	Средняя
Возможность оценки разного типа оборудования	Ограниченная	Высокая, но требует экспертов	Высокая

Из таблицы 1 видно, что традиционные методы удобны для измерения технических параметров, однако недостаточно точно отражают воспринимаемое качество аудиоконтента. Субъективные методы позволяют наиболее полно оценить качество звучания, однако они отличаются высокой трудоемкостью и сложностью организации. Тем временем перцепционные методы являются наиболее целесообразными, поскольку сочетают учет особенностей слухового восприятия, возможность автоматизации и пригодность для оценки качества работы различного аудиооборудования. Это и определяет актуальность разработки именно перцепционной оценки качества.

Для разработки модели для перцепционной оценки качества аудиоконтента в соответствии с предыдущей работой [1] был выбран метод Perceptual Evaluation of Audio Quality (PEAQ). Его работа основана на двух основных этапах: психоакустическая и познавательная модели.

В психоакустической модели (ПАМ) по методу PEAQ используется механизм кратковременного спектрального анализа на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ) [2], на рис. 1 представлена упрощенная схема такой модели.

Итогом работы модели периферийной части уха является получение образцов возбуждения. После получения основных значений проводится предварительная обработка образцов возбуждения, чтобы получить образцы удельной громкости, модуляции, маскирующего порога, ширины полосы частот и отношения шум-маска. Получаемые психоакустические параметры MOV (Model Output Variable) применяются в дальнейших этапах перцепционной оценки качества, с учетом весовых коэффициентов, представленных в таблице 2.

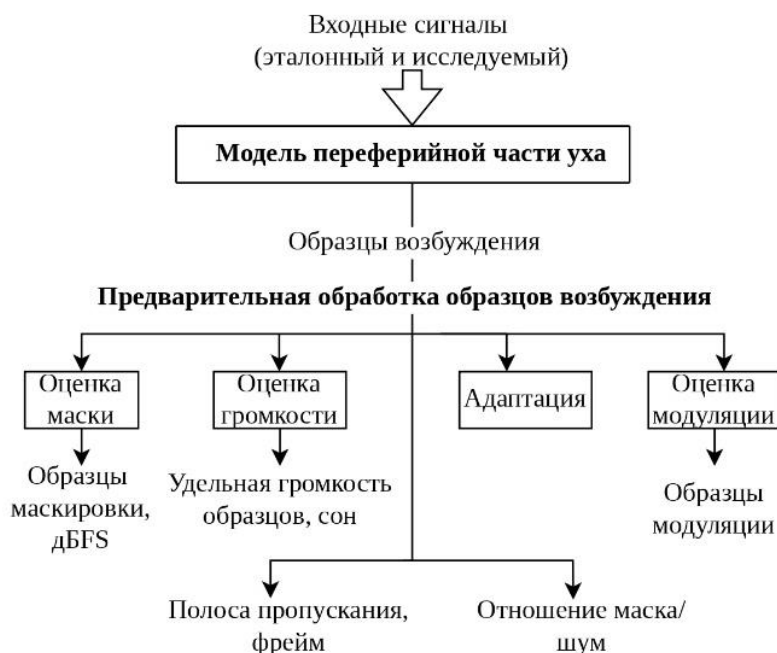


Рис. 1. Психоакустическая модель на основе БПФ

Программная модель ПАМ была реализована с помощью ПО MATLAB. В разработанной модели были учтены те особенности слухового аппарата (частотная и временная избирательность, инерционность, передаточная характеристика и т.п.), которые наиболее существенно влияют на восприятие человеком аудиосигналов.

Следующим этапом является разработка познавательной модели (ПМ). Модель PEAQ, утвержденная стандартом ITU-R BS.1387 [3], является первой официальной реализацией нейросетевой системы для объективной оценки аудиокчества. В ее основе лежит сеть MLP (Multi-layer Perceptron), обученная на данных субъективно-статистических экспертиз. Согласно стандарту, модель может быть базовой версии или продвинутой. Для данного исследования было принято решение использовать базовую версию.

Входными данными служат полученные с помощью ранее разработанной ПАМ психоакустические параметры MOV, эталонный и испытательный сигналы и субъективные оценки различия SDG (Subjective Difference Grade). На выходе модель выдает объективную оценку различия ODG (Objective Difference Grade).

ПО разработано в программном пакете MatLab, в котором есть реализация выбранной искусственной нейросети Multi-layer Perceptron. Разработанное ПО обучает нейросетевую модель MLP на полученных образцах возбуждения. Полученные образцы возбуждения применять в разработке познавательной модели необходимо с учетом весовых коэффициентов, представленных в таблице 2 [3].

ТАБЛИЦА 2. Весовые коэффициенты образцов возбуждения

Образец	Вес	Описание
Удельная громкость	0.35	Отражает различие в восприятии громкости между эталонным и исследуемым сигналом
Различие модуляции	0.25	Отражает различие в модуляционных характеристиках сигналов
Порог маскировки	0.15	Отражает влияние спектрального маскирования между эталонным и исследуемым сигналом
Пропускная способность	0.10	Отражает влияние линейных искажений
Отношение шум-маска	0.15	Отражает линейное среднее значение отношения сигнал-маска

Согласно стандарту BS.1387 нейросеть имеет один скрытый слой на 3 нейрона. В качестве функции активации используется асимметричная сигмоидальная функция [3]:

$$\text{sig}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}, \quad (1)$$

Обучение проводилось на основе разработанной базы из 20 испытательных сигналов, подверженных деградации качества с помощью алгоритма компрессии MPEG-1 Layer 3 [4] с разной скоростью цифрового потока (от 64 кбит/с до 256 кбит/с).

На рис. 2 представлена работа обучения нейросети в ПО MATLAB, графики отображают, как меняются ошибки модели по мере обучения.

В верхней части графика (рис. 2) показана динамика среднеквадратичной ошибки RMSE на обучающей выборке. В процессе обучения наблюдается ее постепенное уменьшение, что указывает на способность модели выявлять и усваивать основные зависимости в получаемых данных. С ростом числа итераций значение ошибки сохраняет одинаковое значение, что свидетельствует о стабильности и корректности обучения. В нижней части графика (рис. 2) представлена функция потерь, которая демонстрирует плавное снижение. Отсутствие резких скачков подтверждает устойчивость процесса обучения и отсутствие признаков переобучения.

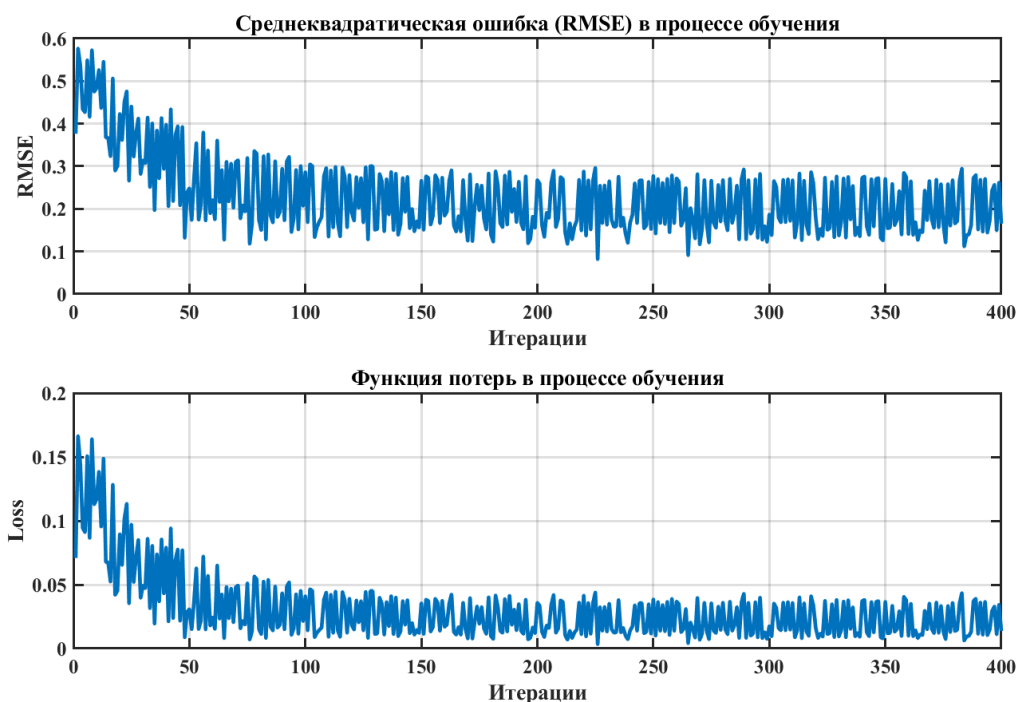


Рис. 2. График обучения нейросети в ПО MatLab

После обучения необходимо проверить корректность работы разработанного ПО. Для этого были выбраны 10 испытательных сигналов, которые прошли оценку качества с помощью разработанного ПО. Эталонным значением принято считать субъективную оценку качества SDG, также получены достоверные оценки ODG с помощью ПО PEAQ Wizard [4]. На рис. 3 представлен сравнительный график результатов испытания работы ПО.

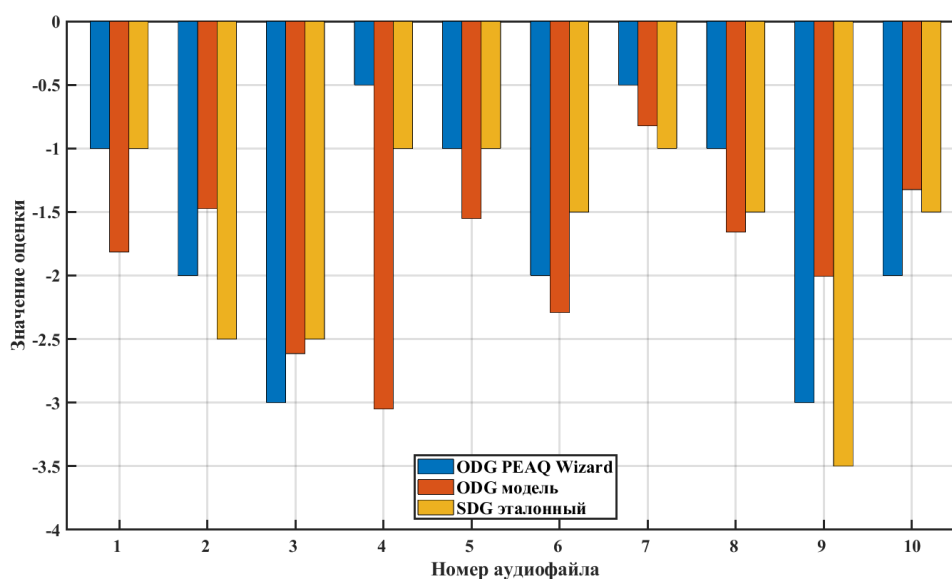


Рис. 3. Сравнительный график результатов работы, разработанной ПО с ПО PEAQ Wizard и эталонным значением SDG

Результаты проверки работы разработанного ПО (рис. 3) показывают, что значения модели коррелируют с эталонными значениями SDG. Также было рассчитано среднеквадратическое отклонение: для разработанного ПО RMSE составляет 21.4 %, а для ПО PEAQ Wizard 11.1 %. Это показывает, что ПО PEAQ Wizard обеспечивает более высокую точность относительно эталонных оценок SDG, однако разработанное ПО также сохраняет соответствие эталону и корректно понимает общие закономерности изменения оценки.

Сравнительный график (рис. 3) демонстрирует, что разработанное ПО с достаточной точностью вычисляет перцепционную оценку качества, предсказывая значения субъективных оценок SDG. Для повышения точности и достоверности получаемых результатов необходимо увеличить базу данных для обучения познавательной модели, а также добавить образцы возбуждения в психоакустической модели.

Список используемых источников

1. Терентьева С. А. Исследование перцепционных методов оценки качества аудиоконтента / С. А. Терентьева; науч. рук. О. А. Свиньина // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре в условиях цифровой трансформации: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции. СПб.: СПбГУТ, 2024. С. 378-382.
2. Ковалгин Ю. А, Вологдин Э. И. Аудиотехника. Учебник для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 742 с., ил.
3. ITU-R Recommendation BS.1387, Method for Objective Measurements of Perceived Audio Quality (PEAQ), International Telecommunication Union, Geneva, 2019.
4. Электроакустика и звуковое вещание: учебное пособие для вузов / И. А. Алдошина, Э. И. Вологдин, А. П. Ефимов, Г. П. Катунин, Л. Н. Кацнельсон, Ю. А. Ковалгин, А. А. Фадеев; под ред. Ю. А. Ковалгина. М.: Горячая линия – Телеком, Радио и связь, 2007. 872 с.; ил.

Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем кафедры ЦТМ СПбГУТ О. А. Свиньиной.

УДК 629.331.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШТАТНОЙ И МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ АУДИОСИСТЕМ В САЛОНЕ АВТОМОБИЛЯ

Р. А. Туроватов (студент группы МТВ-2531 СПбГУТ), turovatom.ra@sut.ru

В работе выполнен расчетно-моделировочный анализ акустической части модернизации аудиосистемы автомобиля Mazda 6 GJ. Рассмотрены штатная фронтальная динамическая головка и Dego PO 8.0 MW, работающие в эквивалентном закрытом объеме передней двери. На основе параметров Тиля–Смолла рассчитаны резонансная частота системы и итоговая добротность, выполнено моделирование импедансной характеристики, передаточной характеристики и групповой задержки. Показано, что Dego PO 8.0 MW имеет более благоприятные расчетные параметры для работы в нижней части фронтального диапазона.

автомобильная аудиосистема, динамическая головка, акустическое оформление, параметры Тиля–Смолла, закрытое акустическое оформление, расчетное моделирование, групповая задержка

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF STOCK AND UPGRADED CAR AUDIO SYSTEMS

Turovatom R.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper presents a computational and modeling analysis of the acoustic aspects of upgrading the audio system in a Mazda 6 GJ. The study compares the stock front driver unit with the Dego PO 8.0 MW, both operating within the equivalent sealed volume of the front door. Based on Thiele-Small parameters, the system's resonant frequency and total Q -factor were calculated, and the impedance characteristic, transfer function, and group delay were modeled. The results demonstrate that the Dego PO 8.0 MW possesses more favorable calculated parameters for operation in the lower region of the front frequency range.

Key words: car audio system, driver unit, acoustic enclosure, Thiele-Small parameters, sealed enclosure, computational modeling, group delay

Штатные автомобильные аудиосистемы проектируются с учетом ограничений по стоимости, массе и унификации компонентов, поэтому применяемые в них динамические головки не всегда обеспечивают равномерное воспроизведение в низкочастотном и среднечастотном диапазонах [1]. В автомобиле Mazda 6 GJ второго рестайлинга в комплектации без Bose штатная система использует широкополосные динамические головки, установленные в двери.

Цель работы – сравнить акустические характеристики штатной фронтальной динамической головки и Dego PO 8.0 MW при работе в эквивалентном закрытом оформлении передней двери. Для этого были использованы параметры Тиля–Смолла, принят расчетный объем двери, рассчитаны итоговая добротность Q_{tc} и резонансная частота системы F_c , а также выполнено моделирование импедансной характеристики, передаточной характеристики и групповой задержки [2, 3].

В данной статье рассматривается замена штатной фронтальной динамической головки, установленной в передней двери автомобиля, на Dego PO 8.0 MW. Расчетное моделирование выполняется только для этих динамических головок, поскольку именно они работают в объеме передней двери. Исходные параметры Тиля–Смолла и расчетные параметры закрытого акустического оформления приведены в таблице 1 [2, 3].

ТАБЛИЦА 1. Исходные и расчетные параметры сравниваемых динамических головок

Динамическая головка	Источник данных	F_s , Гц	Q_{ts}	V_{as} , л	Чувствительность, дБ	V_b , л	Q_{tc}	F_c , Гц
Штатная фронтальная 6,5"	измерение	70	0,67	11,5	88,5	15	0,89	93
Dego PO 8.0 MW	измерение	56,71	0,69	18,06	91,5	15	1,02	84

Dego PO 8.0 MW имеет меньшую собственную резонансную частоту, чем штатная фронтальная головка: 56,71 Гц против 70 Гц, а также большую чувствительность: 91,5 дБ против 88,5 дБ. Разница по чувствительности около 3 дБ указывает на возможность получения большего расчетного уровня звукового давления при одинаковых условиях возбуждения. При этом значения полной добротности близки: 0,69 и 0,67 соответственно, поэтому основное отличие связано не с характером демпфирования, а с положением резонансной области и чувствительностью. Частотная коррекция штатной головки может изменить уровень сигнала, но не изменяет ее параметры Тиля–Смолла.

Для оценки согласования динамических головок с выбранным объемом был выполнен расчет итоговой добротности закрытого акустического оформления [2, 3]:

$$Q_{tc} = Q_{ts} \cdot \sqrt{(1 + V_{as} / V_b)} \quad (1)$$

где Q_{tc} – итоговая добротность, Q_{ts} – полная добротность, V_{as} – эквивалентный объем, V_b – объем акустического оформления.

Резонансная частота динамической головки в закрытом объеме рассчитывалась по формуле [2, 3]:

$$F_c = F_s \cdot \sqrt{(1 + V_{as} / V_b)} \quad (2)$$

где F_c – резонансная частота системы, F_s – резонансная частота головки в свободном воздухе.

Результаты расчета Q_{tc} и F_c также приведены в таблице 1. При одинаковом эквивалентном объеме двери, Dego PO 8.0 MW имеет более низкую расчетную резонансную частоту системы по сравнению со штатной фронтальной динамической головкой: 84 Гц против 93 Гц.

Для наглядного сравнения работы штатной фронтальной динамической головки и Dego PO 8.0 MW было выполнено компьютерное моделирование в программе WinISD [4]. Передняя дверь автомобиля была представлена как эквивалентный закрытый объем.

Для обеих головок использовались одинаковые условия моделирования: закрытое акустическое оформление, эквивалентный объем $V_b = 15$ л, добротность утечек $Q_l = 5$, добротность акустических потерь $Q_a = 30$, добротность потерь стенок $Q_p = 100$. Указанные параметры были заданы одинаковыми для обеих моделей, поскольку целью являлось сравнение динамических головок в одинаковых расчетных условиях [4].

Перед анализом передаточной характеристики были рассмотрены расчетные импедансные характеристики [1, 5]. Положение максимума импеданса соответствует резонансной области динамической головки в акустическом оформлении, поэтому данный график позволяет оценить влияние выбранного объема двери на электромеханическое поведение головок.

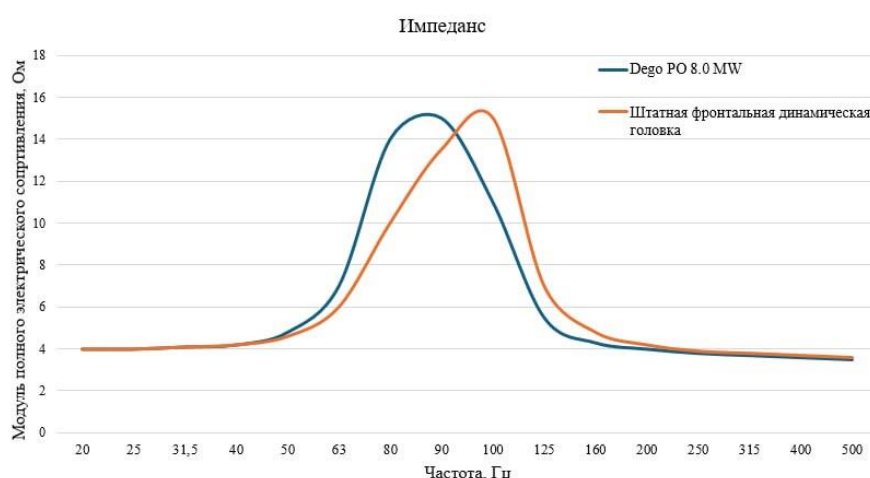


Рис. 1. Расчетные импедансные характеристики штатной фронтальной динамической головки и Dego PO 8.0 MW: 1 – Dego PO 8.0 MW; 2 – штатная фронтальная динамическая головка

Как видно из рисунка 1, максимум импедансной характеристики Dego PO 8.0 MW расположен ниже по частоте по сравнению со штатной фронтальной динамической головкой. Это согласуется с расчетными значениями резонансной частоты системы: около 84 Гц для Dego PO 8.0 MW и около 93 Гц для штатной головки. Таким образом, импедансная характеристика подтверждает смещение резонансной области Dego PO 8.0 MW в сторону более низких частот.

Передаточная характеристика позволяет сравнить расчетный уровень динамических головок в области низких частот при одинаковом акустическом оформлении.

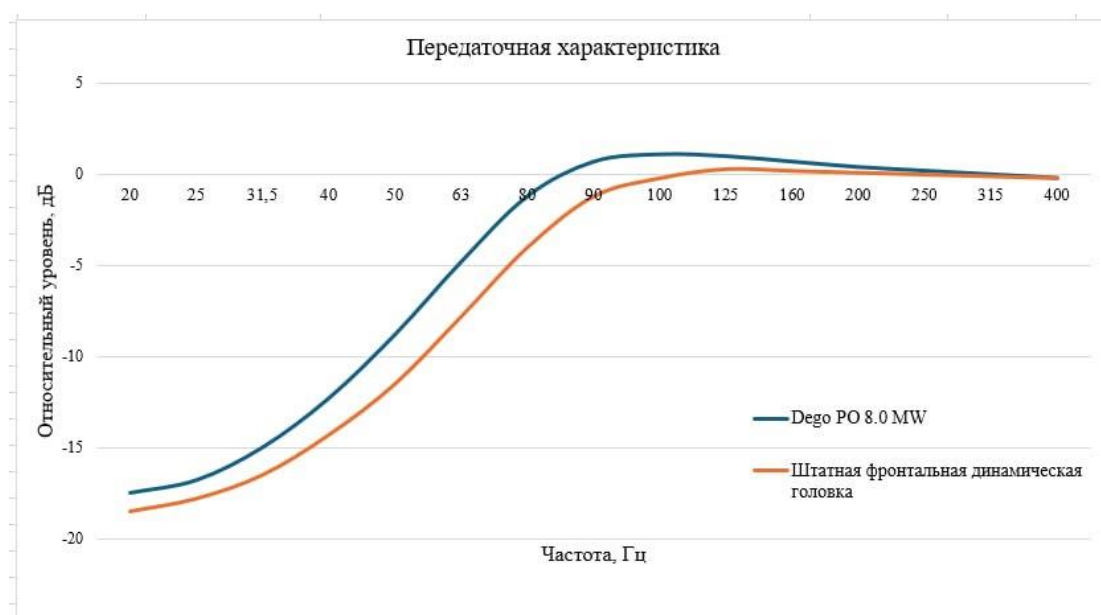


Рис. 2. Расчетная передаточная характеристика штатной фронтальной динамической головки и Dego PO 8.0 MW при $V_b = 15$ л: 1 – Dego PO 8.0 MW; 2 – штатная фронтальная динамическая головка

На рисунке 2 видно, что Dego PO 8.0 MW обеспечивает более высокий расчетный уровень в нижней части рассматриваемого диапазона по сравнению со штатной фронтальной динамической головкой. Это связано с меньшей собственной резонансной частотой и параметрами подвижной системы. При этом расчетная характеристика не учитывает отражения в салоне автомобиля и взаимодействие с другими динамическими головками, поэтому полученный результат следует рассматривать как оценку поведения головки именно в дверном акустическом оформлении.

Групповое время задержки характеризует временное поведение системы в частотной области [1]. Для закрытого акустического оформления ее значения, как правило, ниже, чем у фазоинверторных систем, поскольку отсутствует дополнительный резонанс порта.

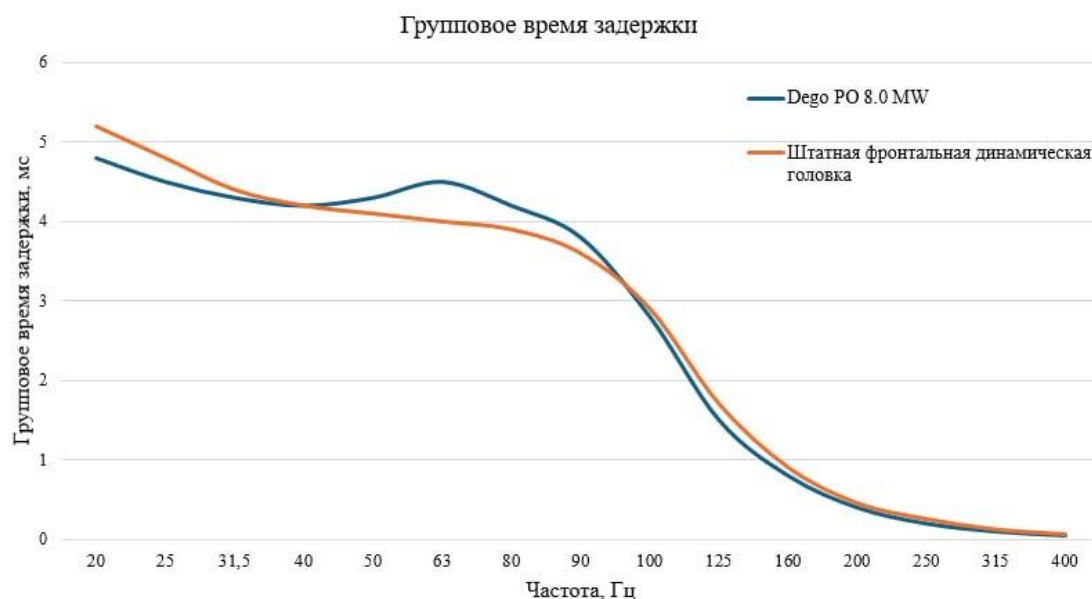


Рис. 3. Расчетное групповое время задержки штатной фронтальной динамической головки и Dego PO 8.0 MW при $V_b = 15$ л: 1 – Dego PO 8.0 MW; 2 – штатная фронтальная динамическая головка

Анализ рисунка 3 не выявляет критических различий между штатной фронтальной динамической головкой и Dego PO 8.0 MW по групповому времени задержки. Для обеих головок значения группового времени задержки находятся на приемлемом уровне для закрытого акустического оформления и не свидетельствуют о выраженных временных искажениях. Следовательно, групповое время задержки не является определяющим преимуществом Dego PO 8.0 MW; основное отличие проявляется в положении резонансной области и форме передаточной характеристики.

Выполненные расчеты показали, что при $V_b = 15$ л резонансная частота системы составляет около 93 Гц для штатной фронтальной динамической головки и около 84 Гц для Dego PO 8.0 MW. Это подтверждается импедансными характеристиками, на которых максимум импеданса Dego PO 8.0 MW смещен в область более низких частот. Передаточная характеристика также показывает более высокий расчетный уровень Dego PO 8.0 MW в нижней части рассматриваемого диапазона.

Выигрыш по резонансной частоте около 9 Гц не является единственным основанием для замены. Дополнительным аргументом является большая чувствительность Dego PO 8.0 MW: 91,5 дБ против 88,5 дБ у штатной фронтальной головки. Разница около 3 дБ указывает на возможность получения более высокого расчетного уровня звукового давления при одинаковых условиях возбуждения. Кроме того, Dego PO 8.0 MW является специализированной низкочастотно-среднечастотной динамической головкой,

тогда как штатная головка используется как более универсальный излучатель в штатной системе.

Таким образом, применение Dego PO 8.0 MW вместо штатной фронтальной динамической головки имеет расчетное акустическое обоснование по совокупности параметров: резонансной частоте, чувствительности, назначению головки и результатам моделирования в дверном объеме. При этом утверждение эффективности модернизации требует измерения амплитудно-частотной характеристики в салоне автомобиля и сопоставления результатов с требованиями к качеству воспроизведения [5].

Список используемых источников

1. IEC 60268-5:2013. Sound system equipment – Part 5: Loudspeakers. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2013.
2. Small R. H. Direct-Radiator Loudspeaker System Analysis // Journal of the Audio Engineering Society. 1972. Vol. 20. № 5. PP. 383-395.
3. Thiele A. N. Loudspeakers in Vented Boxes: Part I // Journal of the Audio Engineering Society. 1971. Vol. 19. № 5. PP. 382–392.
4. Linearteam. WinISD – программа расчета акустического оформления громкоговорителей. URL: <https://www.linearteam.org/>.
5. ГОСТ Р 53575–2009. Аппаратура звуковая. Методы измерения параметров громкоговорителей. М.: Стандартинформ, 2010.

Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем кафедры цифрового телевидения и метрологии СПбГУТ О. А. Свиной.

УДК 621.391.6, 681.7.068

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ WSS ДЛЯ СИСТЕМЫ DWDM С ТЕХНОЛОГИЕЙ FLEX GRID

А. С. Щелочков (студент г. ИКМ-42з, СПбГУТ), Shchelochkov.as@sut.ru

В современных оптических транспортных сетях широко используются реконфигурируемые оптические мультиплексоры ввода/вывода ROADM, позволяющие осуществлять маршрутизацию спектральных каналов DWDM на оптическом уровне. Важнейшим компонентом ROADM является спектрально-селективный оптический переключатель WSS. В работе проведено моделирование WSS с использованием программного обеспечения Matcad и ZEMAX. Моделируемый WSS содержит пространственный модулятор света SLM на основе LCoS и поддерживает гибкую сетку спектральных каналов Flex Grid.

оптическая транспортная сеть, технология DWDM, гибкая сетка спектральных каналов flex grid, гибкая оптическая сеть, реконфигурируемый оптический мультиплексор ввода/вывода ROADM, оптический спектрально-селективный переключатель WSS, дифракционная решетка, голограмма

MODELING AND STUDY OF AN OPTICAL WSS SWITCH FOR A DWDM SYSTEM WITH FLEX GRID TECHNOLOGY

Shchelochkov A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

In modern optical transport networks, reconfigurable optical add/drop multiplexers (ROADMs) are widely used, enabling routing of DWDM spectral channels at the optical level. A crucial component of a ROADM is the wavelength-selective optical switch (WSS). This paper presents the modeling of a WSS using Matcad and ZEMAX software. The simulated WSS includes an LCoS-based spatial light modulator (SLM) and supports the flexible spectral channel grid known as Flex Grid.

Key words: optical transport network, DWDM technology, Flex Grid, flexible optical network, ROADM (reconfigurable optical add/drop multiplexer), WSS (wavelength-selective switch), diffraction grating, hologram

Реконфигурируемый оптический мультиплексор ввода/вывода (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer, ROADM) позволяет осуществлять маршрутизацию спектральных каналов в транспортных DWDM сетях на оптическом уровне. Важнейшим компонентом ROADM является спектрально-селективный оптический переключатель (Wavelength-Selective Op-

tical Switch, WSS). В общем случае WSS имеет несколько входных и несколько выходных портов и перенаправляет спектральные каналы DWDM с любого входного порта на любой выходной порт, позволяя строить волоконно-оптические сети с гибкой частотной сеткой.

Принцип работы WSS поясняется на рис. 1. Оптический сигнал DWDM, из входного оптического волокна (ОВ) коллимируется линзой Lense и попадает на дифракционную решетку Grating с фиксированным периодом, которая разделяет его на отдельные спектральные каналы и отражает на систему управления лучом Beam steering engine. Система управления лучом состоит из управляемых отражающих сегментов, число которых равно числу обрабатываемых спектральных каналов. Сегмент меняет параметры луча так, чтобы после отражения от дифракционной решетки Grating он попал в определенное волокно. В качестве управляемых сегментов используют электромеханические зеркала MEMS, меняющие угол отражения, а также жидкокристаллические пиксели, модулирующие амплитуду, фазу или поляризацию падающего света [1].

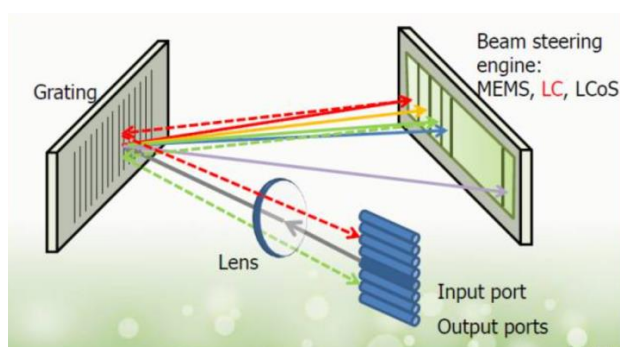


Рис. 1. Структурная схема WSS 1xN

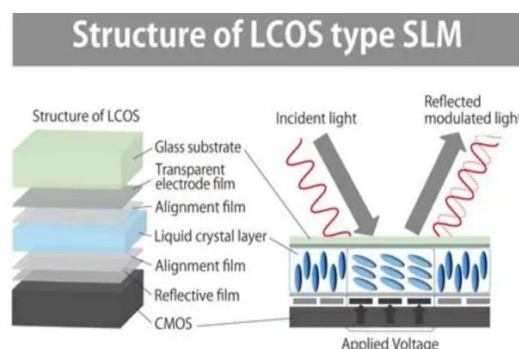


Рис. 2. Пространственный модулятор света SLM

В работе рассмотрен WSS с системой управления лучом, представляющей собой пространственный модулятор света (Spatial Light Modulator, SLM) на основе технологии жидких кристаллов на кремнии (Liquid Crystal on Silicon, LCoS) [1-5]. На рис. 2 показан SLM отражательного типа, состоящий из отдельных жидкокристаллических сегментов (пикселей) на кремниевой подложке. На каждый пиксель нанесено алюминиевое покрытие, одновременно выполняющее роль зеркала и электрода, на который от устройства управления подается управляющее напряжение. SLM выполняет функцию перестраиваемой голографической дифракционной решетки [1, 2]. Связь между углом дифракции β и длиной волны λ падающего света для дифракционной решетки, задается формулой:

$$\sin \beta = \frac{m \cdot \lambda}{d} \quad (1)$$

где m – порядок дифракции, d – пространственный период решетки. Из (1) следует, что, меняя d (перестраивая решетку), можно управлять углом дифракции света. На рис. 3 представлена структурная схема WSS 1x4, разработанная в программе ZEMAX [6]. Основным элементом WSS является динамическая голограмма, состоящая из фиксированной дифракционной решетки № 1 и перестраиваемой голографической дифракционной решетки № 2. Управляя пространственным периодом голограммы (H), получаем программируемую дифракционную решетку, с помощью которой можно отклонять световые лучи на различные углы [1]. Линейный размер модели составляет $4 \cdot f$, где $f = 8$ мм – фокусное расстояние линз № 1 и № 2.

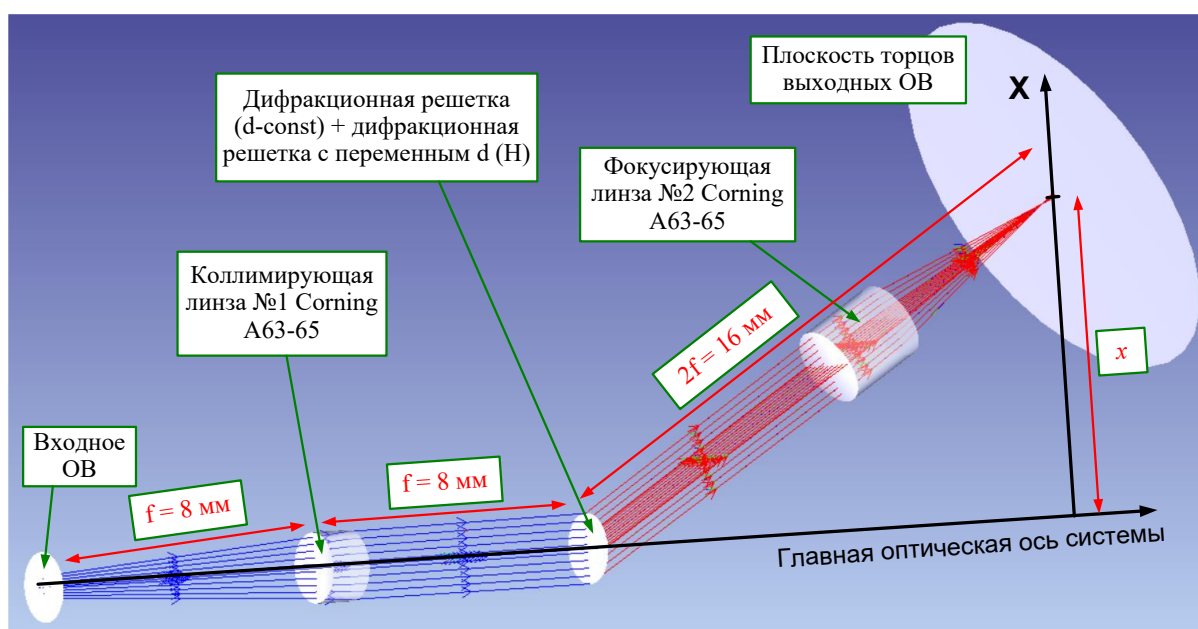


Рис. 3. Структура модели WSS в программе ZEMAX (показан один из 4-х выходов).
Общие габариты 15×32мм

Излучение из входного ОБ (DWDM сигнал) попадает на коллимирующую линзу № 1. Коллимированный свет проходит через дифракционную решетку № 1 с фиксированным шагом d_{x1} , задающим нижнюю границу ширины дифракционной щели системы и определяющим рабочий диапазон длин волн, а затем через перестраиваемую дифракционную решетку № 2 с шагом d_{x2} , [3]. Углы дифракции β и α на решетках № 1 и № 2 для излучения с длиной волны λ можно найти из системы уравнений:

$$d_{x1} \cdot \sin(\beta) = m_1 \lambda, d_{x2} \cdot \sin(\alpha) = m_1 \lambda, \quad (2)$$

где порядок дифракции m_1 был принят равным +1. Шаг решетки № 1 выбран равным $d_{x1} = 2.3$ мкм. Пространственный период голограммы H (шаг решетки № 2) определяется выражением:

$$H = \frac{N \cdot D}{n}, \quad (3)$$

где $N = 175000$ – общее количество пикселей, $D = 10$ нм – размер одного пикселя, $N \cdot D$ – размер вертикального сегмента SLM, n – число периодов решетки внутри одного сегмента. N сегментов составляют матрицу 1.75×1.75 мм. На рис. 4 представлены графики зависимостей длин волн оптического сигнала от n и H , H от n , а также ширины канала от n при приведенных выше исходных данных [4]. Чтобы направить оптический канал с длиной волны λ из диапазона 1.4 – 1.7 мкм и шириной $\Delta\lambda$ в соответствующее выходное ОВ, необходимо по приведенным графикам определить число периодов n или период голограммы H .

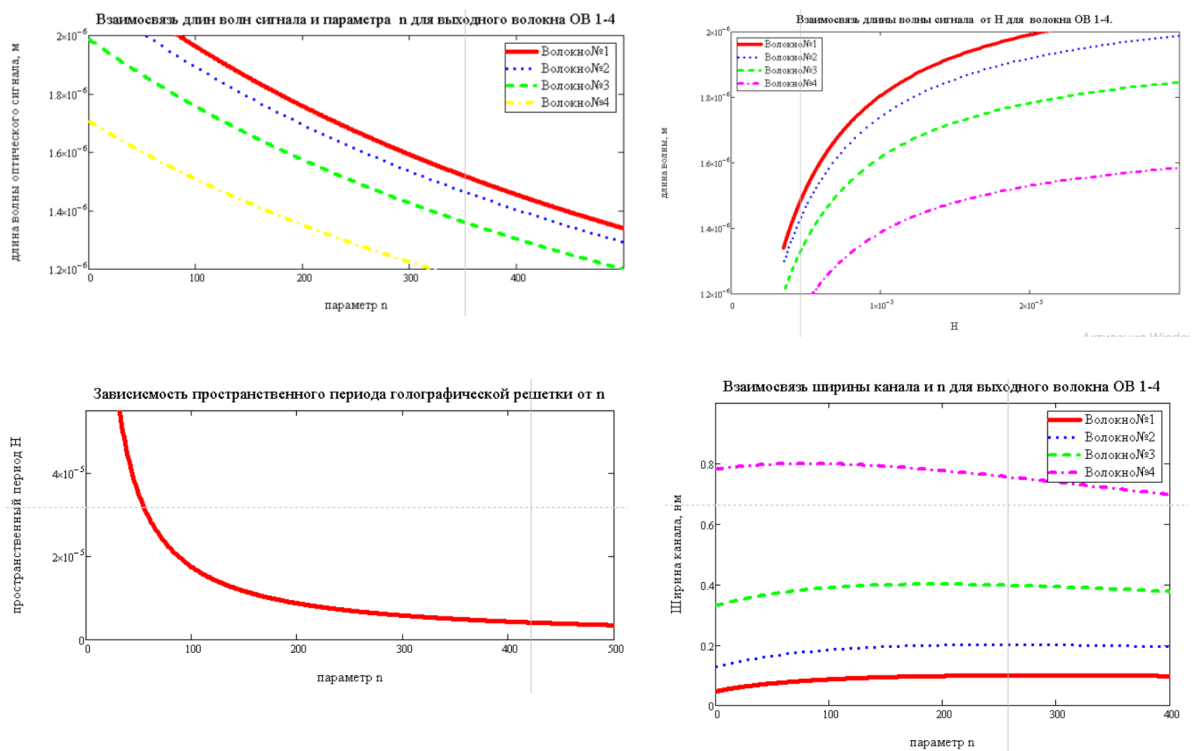


Рис. 4. Взаимосвязь рабочего диапазона и пространственного периода LCoS (параметра n) при $d_{x1} = 2.3$ мкм

Четыре выходных ОВ размещены в фокальной плоскости линзы № 2 (в модели на каждый выход устанавливалась отдельная линза). Места расположения торцов выходных ОВ соответствуют точкам фокусировки излучения с центральной длиной волны рабочего диапазона 1550 нм и разной шириной спектрального канала ΔF : от 12.5 ГГц для ОВ №1 до 100 ГГц

для ОВ № 4 [5]. В модели положения торцов выходных ОВ (расстояния вдоль оси x , перпендикулярной главной оптической оси системы) определялись по формуле (рис. 4):

$$x_n = \lambda_{ref} \cdot f \cdot \left(\frac{n}{N \cdot D} + \frac{1}{dx1} \right) = \lambda_{ref} \cdot f \cdot \left(\frac{1}{H_{BW}} + \frac{1}{dx1} \right), \quad (4)$$

где λ_{ref} – центральная длина волны, H_{BW} – пространственный период голограммы для полосы пропускания ΔF с центральной длиной волны λ_{ref} . Расстояние между центрами торцов соседних выходных ОВ должно быть не менее $\Delta x = 135$ мкм. В табл. 1 приведены положения каждого выходного ОВ в зависимости от ΔF . Максимальный диапазон длин волн, в котором может работать устройство, зависит от значений n и d и, как следствие, соблюдения условия равенства максимумов для системы уравнений (2). Диапазон определяется по выражениям:

$$\lambda_{max} = \frac{x_{ref}}{f} \cdot \frac{1}{\frac{n_{min}+1}{N \cdot D} + \frac{1}{d}}, \quad \lambda_{min} = \frac{x_{ref}}{f} \cdot \frac{1}{\frac{n_{max}+1}{N \cdot D} + \frac{1}{d}}, \quad (5)$$

где n_{min} и n_{max} – минимальное и максимальное количество периодов голограммы SLM, которые соответствуют максимальной 100 ГГц и минимальной 12.5 ГГц полосе пропускания соответственно, x_{ref} – положение выходного ОВ с полосой пропускания 50 ГГц. Ширина спектра сигнала, пропускаемого в выходное ОВ, определяется по формуле 6:

$$\Delta \lambda_{BW} = \frac{\Phi_{CORE} \left(1 - \left(\frac{\lambda_0 + \lambda_0}{H} \right)^2 \right)}{f \cdot \left\{ 1 / \left(\frac{1}{H} + d \sqrt{1 - \frac{\lambda_0^2}{d^2}} \right) \right\}} \quad (6)$$

где λ_0 – центральная длина волны сигнала.

ТАБЛИЦА 1. Положения выходных ОВ в зависимости от пропускной способности

Длина волны, нм	Определение экспериментальных точек X для модели ZEMAX						
	Номер ОВ	ΔF , ГГц	H , мкм	$n_{расч}$	$x_{расч}$, мм	$\Delta \lambda_{расч}$, нм	$x_{эксп}$, мм
1550	1	12.5	5.319	329	7.723	0.1	7.723
1550	2	25	6.119	286	7.418	0.2	7.4198
1550	3	50	8.974	195	6.9165	0.4	6.9146
1550	4	100	22.82	77	5.93	0.8	5.933

При работе оптического переключателя, для переключения каналов с разными длинами волн в нужные выходные ОВ на SLM создается смешанная голограмма, состоящая из наложенных друг на друга голограмм, с разными значениями n . Например, при использовании смешанной голограммы с n из табл. 1 (329, 286, 195 и 77), излучение с длиной волны 1550 нм появится на выходе всех четырех ОВ с соответствующими им канальными интервалами 12.5, 25, 50, 100 ГГц [6].

Список используемых источников

1. Crossland W. A. Holographic Optical Switching: The “ROSES” Demonstrator // Journal of Lightwave Technology. 2000. Vol. 18. Iss. 12. PP. 1845–1854. DOI: 10.1109/50.908753.
2. ZEMAX. Optical Design Program. Руководство Пользователя. Версия 9.0. URL: https://vepp2k.inp.nsk.su/~inest/book/zemax_rus.pdf (дата обращения 10.04.2026).
3. Minguez M. A., Horche P. R. Dynamic holographic wavelength filtering for CWDM applications // Proceedings of SPIE. Photonic Devices and Algorithms for Computing VII (31 July – 4 August 2005, San Diego, USA). 2005. Vol. 5907. DOI: 10.1117/12.614341.
4. Parker M. C., Cohen A. D., Mears R. J. Dynamic Digital Holographic Wavelength Filtering // Journal of Lightwave Technology. 1998. Vol. 16. № 7. PP. 1259–1270. DOI: 10.1109/50.701404.
5. Carrero Mora M., Minguez A. M., Horche P. R. Design of Equalized ROADMs Devices with Flexible Bandwidth Based on LCoS Technology // 2014 19th European Conference on Networks and Optical Communications (NOC, 04–06 June 2014, Milan, Italy). PP. 41–46. DOI: 10.1109/NOC.2014.6996825.
6. Horche P. R., Alarcón A., Lozano L. Filtro Holográfico mediante Moduladores Espaciales de Luz para Sistemas WDM // International Union of Radio Science (URSI'04). 2004.

Статья представлена научным руководителем, заведующим кафедрой ОКСС СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом М. С. Былиной.

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И РОБОТОТЕХНИКА

УДК 621.865.8:004.93

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ: РЕАЛИЗАЦИЯ НА RASPBERRY PI 5 И ARDUINO UNO С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ROS2

Г. А. Андреев (студент группы МАП-2511 СПбГУТ)

П. А. Волынкин (к.т.н., доцент кафедры САР СПбГУТ)

И. О. Германович (студент группы МАП-2511 СПбГУТ)

О. К. Югай (студент группы МАП-2511 СПбГУТ), ugay.ok@sut.ru

В статье описана разработка системы управления роботизированным манипулятором на основе бесконтактного распознавания жестов руки оператора. Система реализована на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi 5 с 8 ГБ оперативной памяти, микроконтроллера Arduino Uno, сервоприводов и коллекторных двигателей. Для детектирования ключевых точек кисти применяется библиотека MediaPipe Hands. Связь между уровнями системы организована на фреймворке ROS2 по схеме «издатель – подписчик». Экспериментально подтверждено среднее время отклика системы 87 мс при точности классификации жестов 94,3 %. Рассмотрены перспективы применения системы в задачах телеуправления, реабилитационной медицины и промышленной автоматизации.

распознавание жестов, роботизированный манипулятор, Raspberry Pi 5, Arduino Uno, ROS2, MediaPipe Hands, компьютерное зрение, автоматизация

GESTURE-BASED CONTROL SYSTEM FOR A ROBOTIC MANIPULATOR: IMPLEMENTATION ON RASPBERRY PI 5 AND ARDUINO UNO WITH ROS2

Andreev G., Volynkin P., Germanovich I., Iugai O.

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications

This paper describes the development of a gesture-based control system for a robotic manipulator, enabling contactless, real-time control using hand gestures captured by a Raspberry Pi 5 (8 GB RAM) camera module. The MediaPipe Hands library is used to detect 21 hand

keypoints per frame. Each finger's flexion state is determined by computing the angle between three consecutive landmarks. A deterministic rule-based classifier maps binary finger-state vectors to manipulator commands. Inter-process communication between the gesture recognition module and the servo controller is implemented with ROS2 Humble using a Publisher–Subscriber topology, while an Arduino Uno executes low-level servo interpolation over UART. Experimental evaluation confirms a mean response latency of 87 ms and a gesture classification accuracy of 94.3 % at 250 lx illumination. The proposed architecture is suitable for teleoperation, rehabilitation engineering, and industrial automation applications.

Key words: *gesture recognition, robotic manipulator, Raspberry Pi 5, Arduino Uno, ROS2, MediaPipe Hands, computer vision, automation*

Развитие систем человеко-машинного взаимодействия формирует устойчивый запрос на интуитивные, бесконтактные способы управления исполнительными механизмами. Традиционные интерфейсы – джойстики, пульты, клавиатуры – ограничивают свободу движений оператора, требуют специального обучения и не позволяют передать тонкую моторику жеста в управляющий сигнал. Распознавание жестов руки средствами компьютерного зрения устраняет эти недостатки, обеспечивая естественный и эффективный канал управления без дополнительного оборудования в виде перчаток или маркеров [1].

Широкому практическому применению систем распознавания жестов в составе встраиваемых решений препятствуют высокие вычислительные требования современных нейросетевых моделей. Задача разработки компактной и энергоэффективной платформы реального времени остается актуальной. Одноплатный компьютер Raspberry Pi 5 с четырехъядерным процессором Cortex-A76 (2,4 ГГц) и 8 ГБ оперативной памяти LPDDR4X обеспечивает принципиально иной уровень производительности по сравнению с предыдущим поколением и открывает возможность запуска легких нейросетевых моделей непосредственно на плате [2, 3].

Целью работы является разработка и экспериментальная апробация системы управления роботизированным манипулятором, в которой Raspberry Pi 5 выступает высокоуровневым вычислительным модулем распознавания жестов, фреймворк ROS2 обеспечивает межпроцессное взаимодействие, а Arduino Uno реализует низкоуровневое управление приводами.

Системы распознавания жестов принято делить на два класса: основанные на контактных устройствах (перчатки с датчиками изгиба, инерциальные измерительные блоки) и на бесконтактном видеоанализе. Первый класс обеспечивает высокую точность, однако ограничивает свободу оператора и требует износоустойчивого оборудования. Видеометоды лишены этих недостатков и развиваются особенно интенсивно благодаря прогрессу в области легких нейросетевых архитектур [1]. Показательным примером является

библиотека MediaPipe Hands компании Google, которая обеспечивает инференс модели обнаружения 21 ключевой точки кисти на мобильных CPU со временем вычисления менее 30 мс, что делает ее применимой для встраиваемых систем реального времени [4].

Аппаратная часть системы включает четыре основных компонента. Raspberry Pi 5 (8 ГБ) с подключенной камерой Raspberry Pi Camera Module 3 (угол обзора 102°, разрешение 12 Мпикс) является главным вычислительным узлом. Плата Arduino Uno R3 на основе микроконтроллера ATmega328P выполняет функции низкоуровневого регулятора. Роботизированный манипулятор включает три степени свободы: плечевой, локтевой и запястный суставы, а также схват. Каждый сустав приводится сервоприводом MG996R (крутящий момент 9,4 кг·см при 5 В), схват – сервоприводом SG90. Питание Raspberry Pi 5 обеспечивается через выделенный DC-DC-преобразователь XL4016, настроенный на выходное напряжение 5 В, что аналогично решению, примененному в смежной работе авторов по разработке мобильного робота на той же аппаратной базе.

Основные технические характеристики аппаратной платформы приведены в таблице 2. Выбор Raspberry Pi 5 с 8 ГБ ОЗУ обусловлен необходимостью одновременного выполнения нескольких задач: декодирования видеопотока, инференса MediaPipe Hands и работы двух узлов ROS2. Arduino Uno обеспечивает детерминированное управление сервоприводами с гарантированным временем реакции на прерывание менее 1 мкс, что недостижимо в среде общей ОС Linux на Raspberry Pi [2, 5].

ТАБЛИЦА 2. Технические характеристики аппаратной платформы

Компонент	Характеристика	Значение
Raspberry Pi 5	Процессор / ОЗУ	Cortex-A76, 2,4 ГГц / 8 ГБ LPDDR4X
Raspberry Pi 5	ОС / ROS2	Ubuntu 24.04 / Humble
Arduino Uno R3	МК / Тактовая частота	ATmega328P / 16 МГц
Arduino Uno R3	Интерфейс с RPi5	UART, 115 200 бод
Камера RPi CM3	Разрешение / Угол	12 Мпикс / 102°
Сервопривод MG996R	Крутящий момент	9,4 кг·см при 5 В

Программная архитектура системы выстроена на фреймворке ROS2 Humble и разделена на три узла (node): узел захвата и обработки изображения (gesture_detector), узел интерпретации жестов и формирования команд (command_publisher) и узел управления приводами (servo_controller). Данная схема соответствует принципам модульного построения робототехнических систем, рекомендованным в работах, посвященных промышленному применению ROS2 [5, 6].

Узел gesture_detector получает поток кадров с камеры через библиотеку picamera2, передает каждый кадр в MediaPipe Hands [4] и извлекает координаты 21 ключевой точки кисти (landmarks). Для каждой точки фиксируются нормализованные координаты (x, y) в системе отсчета кадра. Угол сгиба каждого пальца определяется через угол между тремя последовательными ключевыми точками – основанием, средним и кончиком фаланги. Для пальца с точками A, B, C угол θ вычисляется по формуле:

$$\theta = \arccos \left(\frac{BA \cdot BC}{(|BA| \cdot |BC|)} \right)$$

где BA и BC – векторы от точки B к точкам A и C соответственно. При $\theta > 160^\circ$ палец считается выпрямленным (extended), при $\theta < 90^\circ$ – согнутым. Бинарный вектор состояния пяти пальцев $[P_1, P_2, P_3, P_4, P_5]$, где $P_i \in \{0, 1\}$, передается в узел command_publisher для классификации жеста.

Классификация жестов осуществляется по детерминированным правилам на основе указанного вектора. Всего реализовано пять жестов управления манипулятором, описанных в таблице 1. Детерминированный подход выбран намеренно: он обеспечивает предсказуемость поведения системы, не требует обучающей выборки и интерпретируем оператором без специальных знаний в области машинного обучения.

ТАБЛИЦА 1. Жесты управления и соответствующие команды манипулятора

Жест	Состояние пальцев [P1–P5]	Описание жеста	Команда
Открытая ладонь	[1, 1, 1, 1, 1]	Все пальцы выпрямлены	Стоп / удержание
Кулак	[0, 0, 0, 0, 0]	Все пальцы согнуты	Захват объекта
Указательный вверх	[0, 1, 0, 0, 0]	Выпрямлен указательный	Подъем звена

Жест	Состояние пальцев [P1–P5]	Описание жеста	Команда
Два пальца (V)	[0, 1, 1, 0, 0]	Указательный и средний	Опускание звена
Большой вправо	[1, 0, 0, 0, 0]	Только большой палец	Поворот по ч/с

Узел `command_publisher` публикует в топик `/manipulator/cmd` сообщение пользовательского типа `ManipulatorCmd`, содержащее идентификатор жеста и временную метку. Частота публикации составляет 30 Гц, что соответствует частоте кадров видеопотока. Узел `servo_controller`, выполняющийся на стороне Raspberry Pi 5, подписан на топик `/manipulator/cmd` и транслирует команды в Arduino Uno по последовательному интерфейсу UART (115200 бод). Прошивка Arduino, написанная на C++, получает команду, определяет целевые углы поворота каждого сервопривода и осуществляет плавное управление по линейному закону интерполяции:

$$\alpha(t) = \alpha_{\text{нач}} + (\alpha_{\text{цел}} - \alpha_{\text{нач}}) \cdot t / T$$

где $\alpha_{\text{нач}}$ и $\alpha_{\text{цел}}$ – начальный и целевой угол сервопривода соответственно, t – текущий шаг интерполяции, T – суммарное число шагов. Шаг интерполяции задан равным 10 мс, что обеспечивает плавное и виброустойчивое движение звеньев при смене жеста [5, 6].

Управление сервоприводами реализовано через библиотеку `Servo.h` Arduino. Для каждого из четырех сервоприводов задан рабочий диапазон в соответствии с конструктивными ограничениями манипулятора: плечевой сустав – 0° – 180° , локтевой – 15° – 165° , запястный – 0° – 180° , схват – 20° – 90° . При получении команды «аварийная остановка» (`watchdog timeout` более 500 мс) все сервоприводы удерживаются в текущем положении во избежание непредвиденных движений.

Для оценки характеристик системы проведена экспериментальная апробация в условиях помещения при освещенности 250 лк. Задержка от момента выполнения жеста до начала движения манипулятора измерялась с помощью синхронизированной видеозаписи со скоростью 120 кадров/с. По результатам 100 измерений среднее время отклика составило 87 мс ($\sigma = 12$ мс). Точность классификации жестов на выборке из 500 попыток (по 100

на каждый жест) равна 94,3 %. Ошибочные классификации преимущественно наблюдались при пограничных положениях пальцев с углом сгиба 85° – 95° в зоне неопределенности бинарного порога.

Средняя загрузка процессора Raspberry Pi 5 при одновременной работе двух узлов ROS2 и библиотеки MediaPipe составила 38 % при температуре кристалла 61°C без пассивного охлаждения. Это свидетельствует о наличии значительного резерва вычислительных ресурсов, достаточного для интеграции дополнительных модулей – например, алгоритма SLAM или оценки позы оператора по всему телу.

Выявленным ограничением системы является снижение точности классификации до 81 % при освещенности менее 100 лк. Кроме того, при частичном перекрытии кисти другими объектами кадра медианная уверенность (confidence) MediaPipe Hands падала ниже порога 0,7, что приводило к пропуску кадра. В дальнейшем планируется оценить возможность применения инфракрасной подсветки, а также рассмотреть замену детерминированного классификатора на легкую сверточную сеть (MobileNetV3-Small) для повышения робастности в сложных условиях освещения [1, 4].

Также в числе перспективных направлений – интеграция системы с навигационным стеком ROS2 Nav2 для управления мобильным манипулятором, что позволит объединить данную разработку с мобильной платформой, представленной авторами в работе. Это создаст полноценный мобильный манипулятор с интуитивным жестовым управлением.

Разработана и реализована система управления роботизированным манипулятором на базе Raspberry Pi 5, Arduino Uno и фреймворка ROS2, в которой управляющим сигналом служат жесты руки оператора, распознаваемые библиотекой MediaPipe Hands в режиме реального времени. Разделение задач между высокоуровневым вычислителем и микроконтроллером, принятое в данной работе, соответствует современным подходам к построению встраиваемых робототехнических систем. Экспериментально подтверждено, что система обеспечивает время отклика 87 мс и точность классификации жестов 94,3 % в нормальных условиях освещения, что делает ее пригодной для задач телеуправления, реабилитационной медицины и промышленной автоматизации.

Список используемых источников

1. Oudah M., Al-Naji A., Chahl J. Hand gesture recognition based on computer vision: a review of techniques // Journal of Imaging. 2020. Vol. 6. Iss. 8. P. 73. DOI: 10.3390/jimaging6080073.
2. Raspberry Pi Ltd. Raspberry Pi 5 Product Brief. URL: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi5/raspberry-pi-5-product-brief.pdf> (дата обращения: 12.03.2025).
3. Исмагилов Ф. Р., Вавилов В. Е., Дернов М. Ю., Уразбахтин Р. Р., Галиев Р. Д. Разработка и исследование автономной мобильной платформы с пониженными требованиями к вычислительным мощностям // Робототехника и техническая кибернетика. 2024. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-issledovanie-avtonomnoy-mobilnoy-platformy-s-ponizhennymi-trebovaniyami-k-vychislitelny-moschnostyam> (дата обращения: 21.10.2025).
4. Lugaresi C., Tang J., Nash H. MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines // arXiv. 2019. arXiv:1906.08172. URL: <https://arxiv.org/abs/1906.08172> (дата обращения: 15.03.2025).
5. Пономарев Д. А., Кузьмина Т. О. Система реального времени для управления мобильным роботом // Межрегиональный научно-исследовательский журнал. 2019. № 12-1 (90). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-realnogo-vremeni-dlya-upravleniya-mobilnym-robotom> (дата обращения: 07.10.2025).
6. Macenski S., Foote T., Gerkey B., Lalancette C., Woodall W. Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild // Science Robotics. 2022. Vol. 7, Iss. 66. DOI: 10.1126/scirobotics.abm6074.

УДК 004.05

АРХИТЕКТУРНЫЕ ПОДХОДЫ К ИНТЕГРАЦИИ СЕРВИСОВ АУТЕНТИФИКАЦИИ В МИКРОСЕРВИСНЫЕ СИСТЕМЫ

К. Н. Гах (студент группы ИСТ-362, СПбГУТ), gakh.kn@sut.ru
Д. Г. Попугаев (студент группы ИСТ-261, СПбГУТ), popugaev.dg@sut.ru
А. П. Шабанов (старший преподаватель кафедры САР, СПбГУТ),
aps@sut.ru

В статье рассматриваются архитектурные подходы к интеграции сервисов аутентификации в микросервисные системы. Проанализированы основные модели реализации аутентификации, включая использование встроенных библиотек, паттерна sidecar и внешних сервисов идентификации. Особое внимание уделено вопросам безопасности, масштабируемости и управляемости аутентификации в распределенных системах. Проведено сравнение подходов с точки зрения их применимости в различных сценариях разработки и эксплуатации микросервисных архитектур.

микросервисная архитектура, сервисы аутентификации, распределенные системы, управление доступом, интеграция сервисов

ARCHITECTURAL APPROACHES TO THE INTEGRATION OF AUTHENTICATION SERVICES INTO MICROSERVICE SYSTEMS

Gakh K., Popugaev D., Shabanov A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article discusses architectural approaches to the integration of authentication services into microservice systems. The main authentication implementation models are analyzed, including the use of embedded libraries, the sidecar pattern, and external identification services. Special attention is paid to the issues of security, scalability and manageability of authentication in distributed systems. The approaches are compared in terms of their applicability in various scenarios for the development and operation of microservice architectures.

Key words: microservice architecture, authentication services, distributed systems, access control, service integration

В современных микросервисных системах особую значимость приобретает обеспечение доверия между отдельными компонентами. В отличие от монолитных приложений, где контроль доступа централизован в рамках одного приложения, микросервисы взаимодействуют в распределенной среде, требующей реализации механизмов аутентификации и авторизации для внешнего и межсервисного взаимодействия.

Практическая задача сводится к выбору места, в котором будут выполняться ключевые операции, такие как проверка токена, извлечение прав доступа и выполнение политик доступа. На этом уровне обычно выделяют три архитектурных подхода: библиотечный, *sidecar* и внешний сервис. Их главные различия заключаются в размещении логики безопасности, масштабируемости решения и цены достижения изоляции ответственности. Немаловажно понимать так же и скрытые ограничения каждого из подходов [1-2].

Библиотечный подход предполагает прямое подключение модуля аутентификации в код каждого микросервиса через фреймворк, фильтр, *middleware* или *interceptors*. Выполнение валидации токена и контроль ролей происходит внутри процесса приложения. Такой подход удобен в системах с единым стеком технологий, позволяющий разработчикам повторно применять одинаковые правила доступа к нескольким микросервисам [3].

Главное преимущество данного подхода заключается в минимальной сетевой задержке: если проверка может быть завершена локально, то запрос не покидает процесс приложения. Кроме того, библиотека может обеспечить тесную связь авторизации и бизнес-логики для нестандартных сценариев, где правила доступа зависят от состояния доменной модели. При использовании библиотечного подхода компонент безопасности используется во всех сервисах, при обновлении правил которых требуется перекомпиляция и повторное развертывание, что становится источником недостатков. Различия в версиях библиотек также могут привести к неравномерному поведению системы.

В небольших системах и на ранних этапах разработки библиотечный подход оптимально использовать в силу скорости разработки и простоты отладки. По мере роста числа сервисов возрастает риск индивидуальной трактовки одной и той же политики разными командами. Поэтому библиотечный подход используется не как единственный механизм безопасности, а как локальный слой валидации поверх централизованного источника. Библиотечный подход к интеграции сервиса аутентификации представлен на рисунке 1.

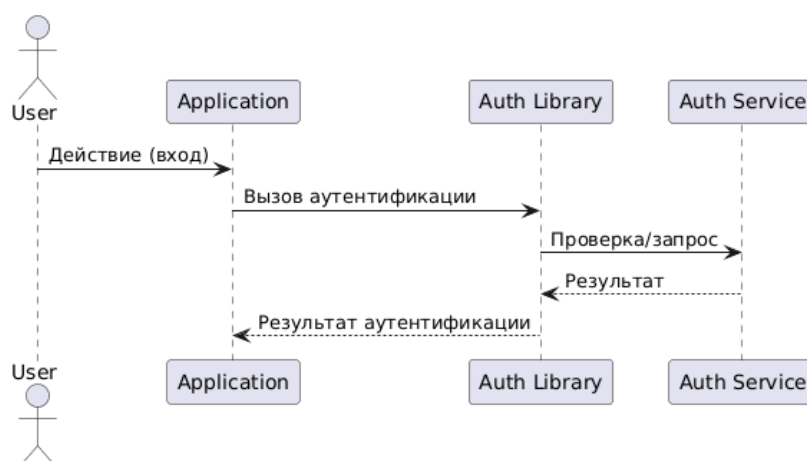


Рис. 1. Библиотечный поход к интеграции сервиса аутентификации

Sidcar-модель заключается в переносе функций аутентификации и авторизации из кода в отдельный процесс, размещенный рядом с микросервисом. С точки зрения аутентификации подход sidcar особенно полезен при обеспечении единых правил для сервисов, реализованных на разных языках программирования. Процесс аутентификации и авторизации происходит на инфраструктурном уровне, что уменьшает технологическую фрагментацию и предоставляет политику доверия каждому конкретному запросу [4].

Появление дополнительного слоя инфраструктуры, требующего настройки и обновления, усложнение диагностики и увеличение сетевой задержки, связанное с прохождением запроса через дополнительный процесс, являются основными недостатками sidcar-модели, связанные с эксплуатацией. Тем не менее в распределенных системах использование такого подхода является наиболее сбалансированным вариантом, отделяющим механизмы безопасности от бизнес-логики и делающим политики доступа одинаковыми для всех сервисов. Sidcar-подход к интеграции сервиса аутентификации представлен на рисунке 2.

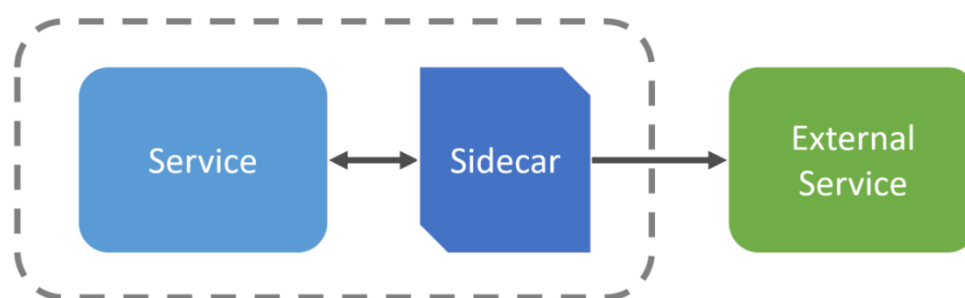


Рис. 2. Sidcar-поход к интеграции сервиса аутентификации

Третий подход строится вокруг отдельного компонента, такого как специализированный сервис аутентификации. Именно он отвечает за процесс авторизации и аутентификации. OpenID Connect описывает такой механизм как слой поверх OAuth 2.0, позволяющий приложению получать утверждения о пользователе и использовать их в распределенной среде [5].

Удобство для микросервисных систем заключается в концентрировании логики идентификации в одном месте. Сервисы получают стандартизированный токен или обращаются к эндпоинтам удаленной интроспекции, затем проверяют лишь подпись и необходимые поля, такие как срок жизни и права доступа. В результате упрощается централизованный отзыв прав и масштабируемость решения.

Зависимость от доступности внешнего сервиса является основным риском в процессе идентификации. Кроме того, скомпрометированные данные продолжают работать в случае неправильной настройки механизма отзыва токенов. Поэтому внешний сервис дополняется локальной валидацией и короткоживущими токенами. Использование внешнего сервиса в интеграции сервиса аутентификации представлено на рисунке 3.

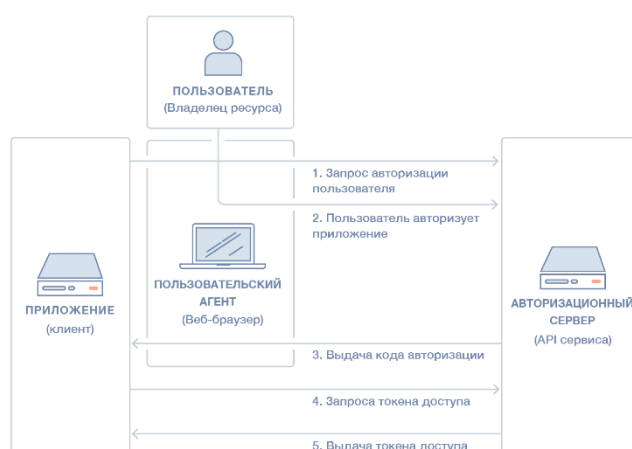


Рис. 3. Использование внешнего сервиса в интеграции сервиса аутентификации

При сопоставлении трех подходов можно сделать вывод о том, что они решают одну задачу на разных уровнях архитектуры. Для локальной валидации и тесной интеграции с доменной логикой выгоднее использовать библиотечный подход. Sidecar обеспечивает инфраструктурную унификацию политик доступа. В свою очередь концентрацию управлением процессом аутентификации и авторизации обеспечивает внешний сервис. В связи с чем на многих платформах эти подходы используются совместно, а не как взаимоисключающие альтернативы.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что интеграция сервиса аутентификации в микросервисные системы не сводится к выбору одного универсального инструмента. Библиотека проявляет свои преимущества в простоте и низкой задержке, sidecar обеспечивает единообразие и инфраструктурный контроль, внешний сервис предоставляет централизованное управление идентичности. С инженерной точки зрения наилучший результат может быть достигнут при разделении ответственности между подходами, преимущества которых будут основополагающими на каждом архитектурном уровне. Такое решение позволяет масштабировать систему без потери управляемости.

Список используемых источников

1. Best Practices for Authorization in Microservices. URL: <https://www.osohq.co/post/microservices-authorization-patterns> (дата обращения: 03.04.2026).
2. Барабанов А. Справочник security-архитектора: обзор подходов к реализации аутентификации и авторизации в микросервисных системах. URL: <https://habr.com/ru/companies/huawei/articles/527098/> (дата обращения: 03.04.2026).
3. Система аутентификации: сделай сам vs возьми готовое // Блог компании Сбер. 2026. URL: <https://habr.com/ru/companies/sberbank/articles/775840/> (дата обращения: 03.04.2026).
4. Как работает аутентификация через Sidecar-контейнер // ООО «Тру Инжиниринг». 2026. URL: <https://www.trueengineering.ru/blog/sidecar-container-authorization> (дата обращения: 03.04.2026).
5. Бобыкин А. Внешняя аутентификация для веб приложения. URL: <https://habr.com/ru/articles/30782/> (дата обращения: 03.04.2026).

Статья представлена научным руководителем, и.о. заведующего кафедрой САР СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом В. С. Уссом.

УДК 629.7.036.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА БАЗЕ ОПЫТА ФРАНКЛИНА

П. Голов (студент группы РК-2511 СПбГУТ)

О. А. Долматова (к.ф.-м.н., доцент, научный руководитель, СПбГУТ)

Е. Р. Маматуллин (студент группы РК-2511 СПбГУТ), mamatullin.er@sut.ru

В представленной статье исследуются физические принципы создания реактивной тяги с помощью ионизации газа в электростатическом поле. Целью работы является практическая реализация и изучение опыта Бенджамина Франклина. Авторами спроектирована и собрана действующая модель атмосферного ионного двигателя. В ходе работы проведены физические измерения: исследована зависимость угловой скорости ротора от подаваемого напряжения, полярности, а также от геометрии установки. Полученные экспериментальные данные подтверждают прямую пропорциональность скорости вращения от напряжения и обратную – от высоты подъема ротора. Выводы полностью согласуются с законами электростатики.

ионный двигатель, электростатика, колесо Франклина, коронный разряд, ионизация газа, электрический ветер, реактивная тяга

INVESTIGATION OF THE PHYSICAL PRINCIPLES OF AN ELECTROSTATIC ION ENGINE BASED ON FRANKLIN'S EXPERIMENT

Golov P., Dolmatova O., Mamatullin E.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article investigates the physical principles of generating reactive thrust through gas ionization in an electrostatic field. The aim of the work is the practical implementation and study of Benjamin Franklin's experiment. The authors designed and assembled a working model of an atmospheric ion engine. Physical measurements were conducted to investigate how the rotor's angular velocity depends on the applied voltage, polarity, and the setup's geometry. The experimental data confirm that the rotation speed is directly proportional to the voltage and inversely proportional to the rotor's elevation height. The findings are fully consistent with the laws of electrostatics.

Key words: ion engine, electrostatics, Franklin's wheel, corona discharge, gas ionization, electric wind, reactive thrust

В настоящее время космическая индустрия требует новых инженерных решений. Освоение дальнего космоса и поддержание орбитальных группировок спутников сталкиваются с физическими ограничениями классических химических ракетных двигателей. Привычные реактивные двигатели громоздки и требуют огромных запасов горючего и окислителя, что существенно снижает массу полезной нагрузки аппарата.

Перспективной альтернативой являются электрические ракетные двигатели (ЭРД), в частности – ионные двигатели. Их рабочим телом является не сгорающее топливо, а ионизированный газ (плазма), который разгоняется в электромагнитном поле до скоростей 30–50 км/с. Благодаря высокому удельному импульсу ионные двигатели способны непрерывно функционировать месяцами и годами, что делает их идеальными маршевыми двигателями для глубокого космоса.

Целью данного исследования является попытка реализовать принцип электростатической тяги в атмосферных условиях, опираясь на классический опыт Бенджамина Франклина («колесо Франклина»), а также изучить и физически обосновать полученные экспериментальные результаты.

Известно, что в основе работы электростатического двигателя лежит явление стекания заряда с острия и образование «электрического ветра». При подаче высокого напряжения на металлический проводник с заостренным концом, на острие возникает максимальная напряженность электрического поля, достаточная для пробоя диэлектрика (воздуха). Возникает коронный разряд, приводящий к ионизации молекул окружающего газа.

Образовавшиеся ионы, имеющие тот же знак заряда, что и острие, отталкиваются от него в соответствии с законом Кулона:

$$F = \frac{k(|q_1 \cdot q_2|)}{r^2}$$

где F – сила кулоновского взаимодействия, k – коэффициент пропорциональности, q_1 и q_2 – величины зарядов, r – расстояние между ними.

Покидая область коронного разряда, ионы увлекают за собой нейтральные молекулы воздуха, создавая направленный поток («электрический ветер»). Согласно третьему закону Ньютона, этот поток создает реактивную тягу, направленную в противоположную сторону, что приводит конструкцию во вращательное движение.

Для подтверждения теоретической базы авторами была спроектирована и собрана экспериментальная установка. Вращающийся ротор был изготовлен из дерева, выступающего в роли надежного диэлектрика для предотвращения утечек тока. На концах ротора были закреплены металлические проводники. Внешним статором (экраном) служил цилиндрический борт, обмотанный алюминиевой фольгой, который выполнял роль второй обкладки конденсатора и обеспечивал направленность силовых линий электрического поля.



Рис. 1. Фото установки

В ходе Эксперимента № 1 исследовалась зависимость угловой скорости ротора от величины подаваемого напряжения (U) и полярности центрального подключения (таблица 1).

ТАБЛИЦА 1. Зависимость угловой скорости от напряжения и полярности

Напряжение U , кВ	Угловая скорость ω , рад/с (при «+» в центре)	Угловая скорость ω , рад/с (при «-» в центре)
2	9,2	9,5
4	9,7	10,2
6	10,2	10,9
8	10,7	11,6
10	11,2	12,3

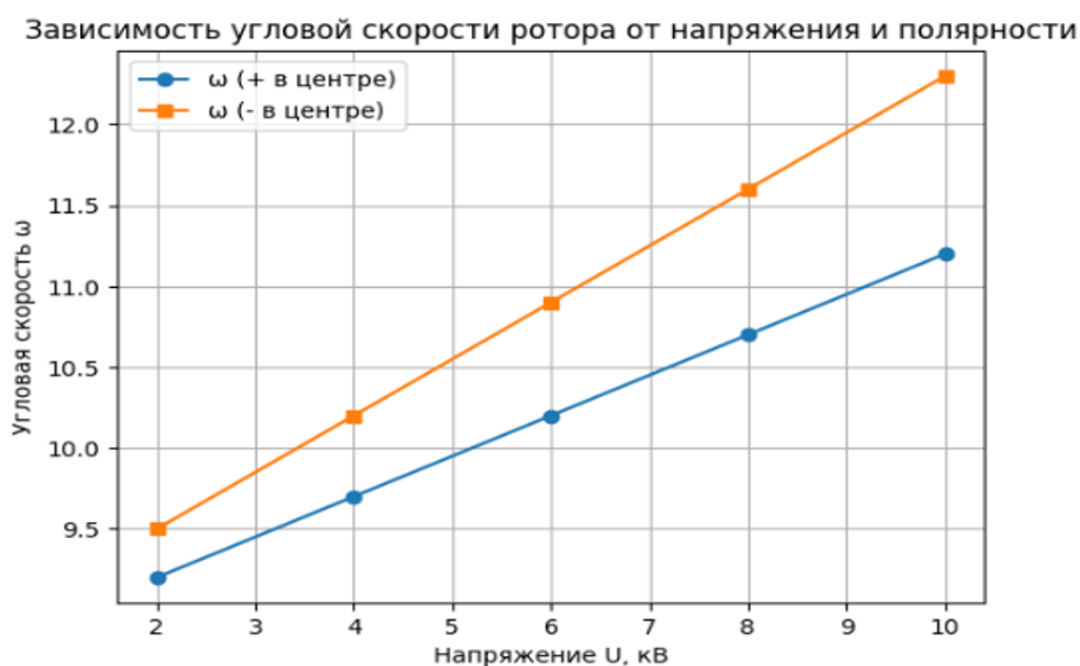


Рис. 2. Зависимость угловой скорости ротора от напряжения и полярности

Анализ данных таблицы 1 и рисунка 2 показывает, что зависимость угловой скорости прямо пропорциональна подаваемому напряжению. При этом зафиксирован важный физический эффект: при центральном подключении отрицательного полюса (минуса) скорость вращения превышает показатели положительного подключения. Это объясняется явлением автоэлектронной эмиссии: сильное электрическое поле облегчает выход свободных электронов из металла, делая процесс ионизации воздуха более интенсивным, что пропорционально увеличивает реактивную тягу.

В ходе Эксперимента №2 проверялось влияние геометрии установки на эффективность двигателя. Измерялась угловая скорость в зависимости от высоты подъема (h) ротора относительно статора из фольги (таблица 2).

ТАБЛИЦА 2. Влияние высоты расположения ротора на угловую скорость

Высота подъема h , см	Угловая скорость ω , рад/с
0	9,03
4,5	6,60
9	2,01

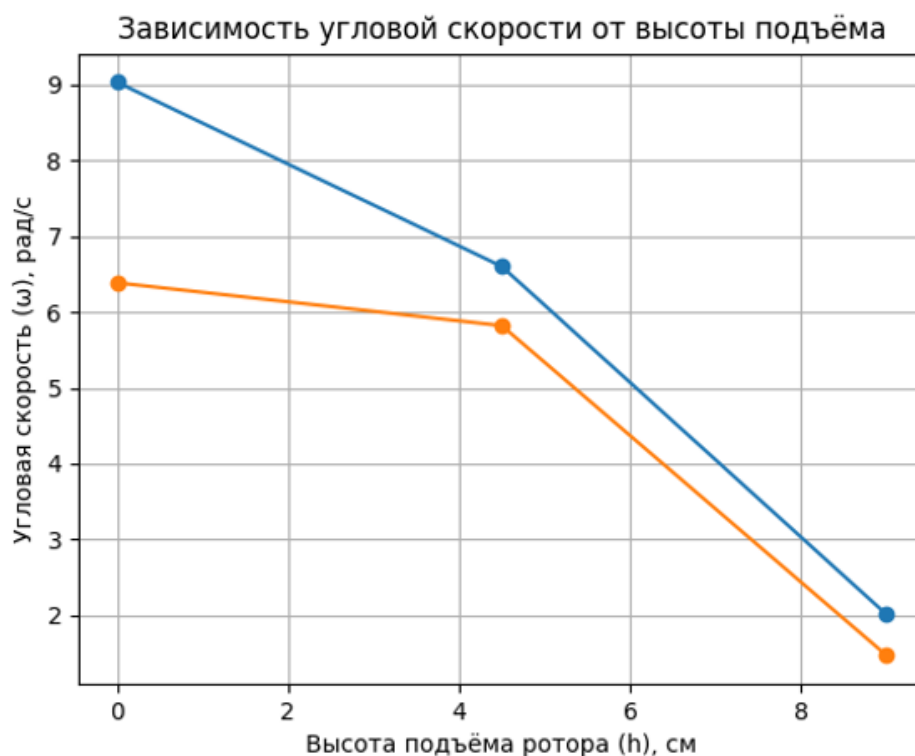


Рис. 3. Зависимость угловой скорости от высоты подъёма

Из рисунка 3 видно, что угловая скорость обратно пропорциональна высоте подъема ротора. При низком расположении ротора наблюдается сильное взаимодействие электрических полей и максимальная тяга. При увеличении расстояния до экрана происходит ослабление напряженности электростатического поля, рассеивание «электрического ветра» и, как следствие, резкое падение реактивной тяги.

Таким образом, поставленная цель исследования успешно достигнута. Созданная экспериментальная установка позволила наглядно продемонстрировать работоспособность атмосферного аналога ионного двигателя. Полученные зависимости экспериментально подтверждают законы электростатики и доказывают, что направленный поток ионизированного газа способен создавать стабильную реактивную тягу, достаточную для совершения механической работы. Подобные физические принципы, масштабированные и адаптированные для условий космического вакуума, сегодня успешно применяются в орбитальных и межпланетных системах.

Список используемых источников

1. Гришин С. Д., Лесков Л. В. Электрические ракетные двигатели космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1989. 216 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. Том 2. Электричество и магнетизм. М.: Наука, 1988. 496 с.
3. Капцов Н. А. Коронный разряд и его применение в электрофильтрах. М.: Гостехиздат, 1947. 250 с.
4. Goebel D. M., Katz I. Fundamentals of Electric Propulsion: Ion and Hall Thrusters // Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. 2008. PP. 15-35.

УДК 004.932

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ЛИНЕЙНОГО ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА, СЖАТИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

В. М. Деткова (к.ф.-м.н., доцент кафедры физики, СПбГУТ)

Л. С. Курбатский (студент группы ИКТМ-42, СПбГУТ), kurbatskiy.ls@sut.ru

М. С. Рягузова (студент группы ИКТМ-42, СПбГУТ), ryaguzova.ms@sut.ru

А. Д. Сидоров (студент группы ИКТБ-43, СПбГУТ), sidorov.ad@sut.ru

В статье представлено исследование и программная реализация метода линейного предсказательного кодирования (LPC) как эффективного инструмента анализа, компрессии и восстановления речевых сигналов. Целью работы является разработка прототипа системы, позволяющей исследовать взаимосвязь коэффициентов предсказания с формантной структурой речи и оценивать компромисс между степенью сжатия и качеством реконструкции сигнала. Методологическая основа включает построение модели «источник–фильтр», применение автокорреляционного метода и алгоритма Левинсона–Дурбина. В ходе презентации проекта продемонстрированы ключевые этапы обработки сигнала, архитектура программного решения и количественные показатели эффективности. Полученные результаты свидетельствуют о высокой степени компрессии (до 9 раз) при сохранении приемлемого качества восстановления. Работа ориентирована на применение в системах передачи, синтеза и распознавания речи, а также в образовательных и исследовательских задачах цифровой обработки сигналов.

линейное предсказательное кодирование, LPC, обработка речи, сжатие данных, цифровая обработка сигналов, форманты, модель источник–фильтр

RESEARCH AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE LINEAR PREDICTIVE CODING METHOD FOR ANALYSIS, COMPRESSION, AND RECONSTRUCTION OF SPEECH SIGNALS

Detkova V., Kurbatsky L., Ryaguzova M., Sidorov A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article presents a study and software implementation of the Linear Predictive Coding (LPC) method as an effective tool for the analysis, compression, and reconstruction of speech signals. The aim of the work is to develop a prototype system that allows investigating the relationship between prediction coefficients and the formant structure of speech, as well as evaluating the trade-off between the compression ratio and the quality of signal reconstruction. The methodological framework includes the construction of a source–filter model, the application of the autocorrelation method, and the Levinson–Durbin algorithm. During the project presen-

tation, the key stages of signal processing, the architecture of the software solution, and quantitative performance indicators are demonstrated. The obtained results indicate a high compression ratio (up to 9 times) while maintaining acceptable reconstruction quality. The work is intended for applications in speech transmission, synthesis, and recognition systems, as well as in educational and research tasks related to digital signal processing.

Key words: *linear predictive coding, LPC, speech processing, data compression, digital signal processing, formants, source–filter model*

Введение

Современный этап развития информационных технологий характеризуется ростом объемов речевых данных, циркулирующих в цифровых коммуникационных системах. В этих условиях задача эффективного анализа и компрессии речевых сигналов приобретает практическое значение.

Метод линейного предсказательного кодирования (LPC) занимает важное место среди алгоритмов обработки речи благодаря способности компактно описывать спектральные свойства сигнала через ограниченное число параметров.

Несмотря на широкое применение LPC в телекоммуникациях и синтезе речи, остается актуальной задача исследования взаимосвязи параметров модели с качеством восстановления сигнала и степенью его сжатия. В работе рассматривается программная реализация метода, ориентированная на анализ этих зависимостей.

Методология

В основе метода лежит классификация речевых звуков по типу возбуждения (вокализованные и невокализованные), что обосновывает использование модели «источник–фильтр» [1].

Речевой сигнал формируется в результате взаимодействия источника возбуждения (голосовых связок) и резонансной системы голосового тракта (см. рис. 1). В зависимости от типа возбуждения различают вокализованные звуки, характеризующиеся периодической структурой, и невокализованные, имеющие шумовую природу.

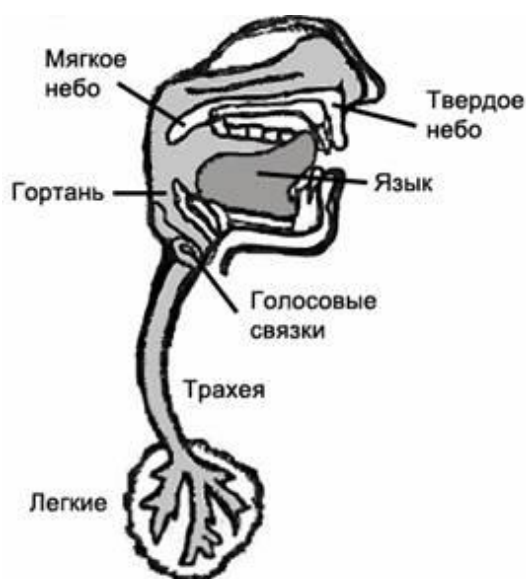


Рис. 1. Схематическое изображение речевого аппарата человека

Голосовой тракт может быть аппроксимирован в виде системы последовательно соединенных акустических труб с изменяемыми параметрами, отражающими положение артикуляционных органов (языка, губ, мягкого неба) (см. рис. 2). Такая модель позволяет описывать формирование формант – резонансных максимумов спектра, определяющих тембр и различимость звуков речи [2].

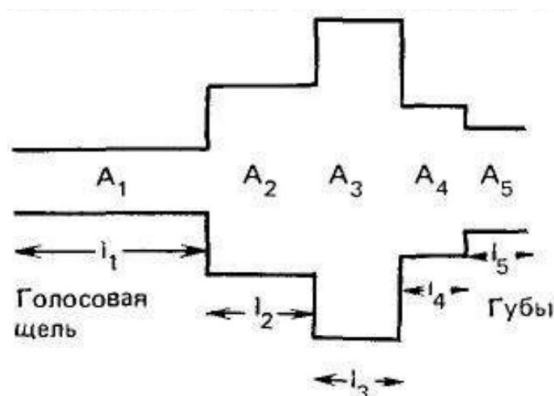


Рис. 2. Представление голосового тракта в виде системы соединенных труб

Согласно методу LPC, текущий отсчет сигнала аппроксимируется линейной комбинацией предыдущих значений:

$$s(n) = \sum_{k=1}^p a_k s(n-k), \quad (1)$$

где a_k – коэффициенты линейного предсказания, p – порядок модели.

Коэффициенты определяются путем минимизации ошибки предсказания, что приводит к системе уравнений, решаемых с использованием автокорреляционного метода и алгоритма Левинсона–Дурбина [3]. Характер ошибок предсказания для различных типов звуков представлен на рис. 3



Рис. 3. Примеры сигналов и погрешностей предсказания для гласных i, e, a

Архитектура системы LPC включает этапы предобработки сигнала, расчета коэффициентов, кодирования параметров и последующего восстановления сигнала.

Программная реализация построена по модульному принципу и включает загрузку данных, обработку сигналов, расчет LPC-параметров, анализ результатов и визуализацию. Пример интерфейса и результатов работы программы приведен на рис. 4.

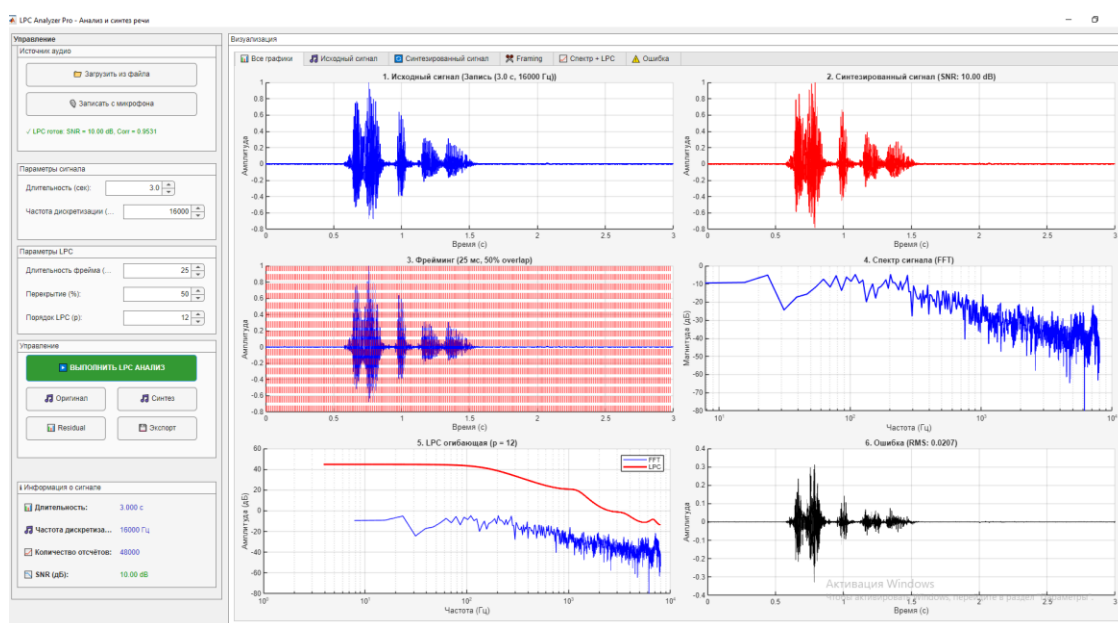


Рис. 4. Интерфейс разработанной программы и визуализация результатов обработки

Разработанное программное средство обеспечивает визуализацию как временных, так и спектральных характеристик сигнала. В частности, пользователь может наблюдать исходный и восстановленный сигналы во временной области, их спектры, а также оценивать ошибку предсказания.

В качестве выходных данных формируются коэффициенты линейного предсказания, значения энергии сигнала по кадрам и коэффициент сжатия. Дополнительно реализована возможность сохранения восстановленного сигнала в аудиоформате, что позволяет проводить субъективную оценку качества реконструкции.

Таким образом, программа обеспечивает не только численный анализ, но и наглядную интерпретацию результатов обработки речевых сигналов.

Результаты

В ходе реализации разработана программная система, обеспечивающая полный цикл LPC-анализа и синтеза речевых сигналов.

Проведенные эксперименты показали высокую эффективность метода с точки зрения компрессии. Для тестового сигнала длительностью 3 секунды при частоте дискретизации 8 кГц коэффициент сжатия составил более 9, что соответствует результатам, представленным в классических работах по LPC.

Анализ временных и спектральных характеристик показал, что восстановленный сигнал сохраняет основные формантные структуры исходной речи, обеспечивая разборчивость и узнаваемость звука.

Кроме того, исследовано влияние порядка модели на точность аппроксимации сигнала: увеличение параметра p повышает точность описания спектра, однако приводит к росту вычислительной сложности [4].

Обсуждение

Сравнение предложенного решения с существующими методами обработки речи показывает, что LPC обеспечивает баланс между вычислительной сложностью и точностью моделирования. В отличие от современных нейросетевых подходов, метод не требует значительных вычислительных ресурсов и обладает высокой интерпретируемостью.

Однако метод имеет ряд важных ограничений. Он менее эффективен при обработке шумовых и сложных сигналов, а также не учитывает нелинейные особенности речеобразования. При этом качество восстановленного сигнала существенно зависит от выбора параметров модели.

Заключение

В работе представлена программная реализация метода линейного предсказательного кодирования, позволяющая эффективно анализировать, сжимать и восстанавливать речевые сигналы. Результаты подтверждают, что LPC обеспечивает высокий коэффициент сжатия при сохранении качества восстановления.

Разработанная система может быть использована в задачах передачи, хранения и обработки речевой информации, а также в образовательных и исследовательских целях.

В дальнейшем планируется внедрение адаптивной настройки параметров сжатия в зависимости от поступающего сигнала.

Список используемых источников

1. Рабинер Л., Шафер Р. Теория цифровой обработки речевых сигналов: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1981. 312 с.
2. Марпл С. Цифровой спектральный анализ и его приложения : пер. с англ. М.: Мир, 1990. 584 с.
3. Oppenheim A. V., Schafer R. W. Discrete-Time Signal Processing. Pearson, 2010. 1136 p. DOI: 10.1109/9780470544925.
4. Makhoul J. Linear Prediction: A Tutorial Review // Proceedings of the IEEE. 1975. Vol. 63. № 4. PP. 561–580. DOI: 10.1109/PROC.1975.9792.

УДК 621.865.8

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО РОБОТА

Е. А. Митенев (студент группы РМ-41, СПбГУТ), mitenev.ea@sut.ru

В. С. Усс (к.т.н., доцент, и. о. заведующий кафедрой САР), uss.vs@sut.ru

В работе рассматривается процесс разработки и модернизации системы управления сферического робота, направленный на повышение надежности электронной архитектуры. Проведен анализ причин систематических отказов вычислительных узлов предыдущих версий, вызванных коммутационными помехами от коллекторных двигателей и нестабильностью импульсных преобразователей питания. Предложена новая структура системы, включающая переход на контроллер Raspberry Pi Zero 2W, внедрение гальванической развязки канала связи на базе микросхемы ADuM1201 и физическое разделение контуров питания логики и силовой части. Для координации работы трех приводов Maxon EPOS2 24 2 развернута CAN-шина с терминированием на крайних узлах. Реализована многоуровневая защита: изолированный DC-DC преобразователь AIMTEC, силовое реле с герконовым управлением и плавкий предохранитель на 3А. Экспериментально зафиксировано снижение задержек в канале управления и стабильный обмен данными между узлами. Созданная аппаратная платформа обеспечивает необходимую отказоустойчивость и готова к интеграции алгоритмов автономной балансировки.

сферический робот, система управления, гальваническая развязка, CAN-шина, электромагнитная совместимость, защита питания, Maxon EPOS2, Raspberry Pi

DEVELOPMENT OF A SPHERICAL ROBOT CONTROL SYSTEM

Mitenev E.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article discusses the development of a control system architecture for a spherical robot. Despite the use of an existing mechanical platform, the electronic components and node interaction algorithms are designed from scratch, taking into account the analysis of failures in previous versions.

Key words: spherical robot, control system, galvanic isolation, CAN bus, electromagnetic compatibility, power protection, Maxon EPOS2, Raspberry Pi

Сферические роботы перспективны для мониторинга в агрессивных средах благодаря герметичному корпусу, защищающему электронные компоненты от внешних воздействий [1]. Однако размещение силовой приводной системы и контроллера в ограниченном объеме усложняет обеспечение

электромагнитной совместимости и стабильности питания. Анализ предыдущих версий показывает высокую вероятность отказов из-за помех в каналах связи и скачков напряжения при пуске двигателей. В связи с этим разработка архитектуры системы управления с гальванической развязкой и защищенными цепями питания является актуальной задачей. Решение этих проблем необходимо для обеспечения надежной автономной работы робота в условиях, где техническое обслуживание невозможно.

В ходе эксплуатации прототипа сферического робота на базе вычислительного модуля Intel Galileo GEN 2, а затем Raspberry Pi 4B, было зафиксировано два критических отказа вычислительного узла. Оба случая произошли при питании от бортовой аккумуляторной батареи через импульсный DC-DC преобразователь на базе микросхемы XL6009E1. При тестировании от лабораторного источника питания отказы не воспроизводились.

Локализация неисправностей показала выход из строя контроллера питания (первый случай) и чипа оперативной памяти (второй случай). Предполагаемая причина – недостаточная фильтрация коммутационных помех от коллекторных двигателей Махон и просадки напряжения в момент пуска (пусковой ток). Дополнительным фактором стало отсутствие гальванической развязки между силовой частью и каналом связи, что позволяло помехам проникать в вычислительный узел через линии UART/USB [2].

Данные инциденты определили ключевые требования к модернизированной системе: гальваническая развязка каналов связи, разделение контуров питания логики и силовой части, многоуровневая защита по току.

Разработанная система управления построена по модульному принципу и включает три основных подсистемы: вычислительный узел, приводы с драйверами и систему питания.

В качестве основного контроллера выбран Raspberry Pi Zero 2W [3]. Выбор обусловлен сниженным энергопотреблением по сравнению с Raspberry Pi 4B и компактным форм-фактором. Для совместимости с существующим креплением используется плата расширения Zero-to-Pi3 Adapter. Временное питание узла осуществляется от отдельного литиевого аккумулятора (36 Вт·ч, 5500 мА·ч) для исключения влияния помех от силовой цепи на этапе отладки.

Команды от вычислительного узла к драйверам двигателей передаются по интерфейсу RS232 [4]. Для защиты от электромагнитных помех введена гальваническая развязка на базе микросхемы ADuM1201 (Analog Devices) [5] (рис. 1).

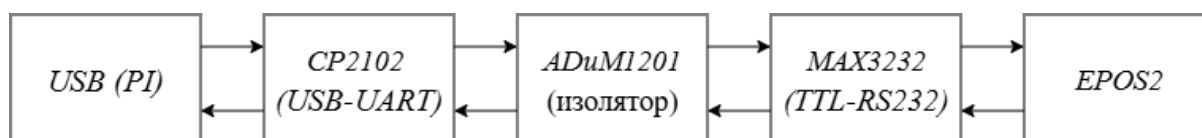


Рис. 1. Цепочка преобразований в гальванической развязке

Три драйвера Maxon EPOS2 24/2 объединены по шине CAN [6]. Синхронизация осуществляется между драйверами без участия вычислительного узла, что снижает нагрузку на канал связи. Терминирование шины (120 Ом) реализовано встроенными резисторами на крайних узлах сети (драйверы № 1 и № 3).

Питание разделено на два независимых контура:

- логика (5В): Изолированный DC/DC преобразователь AIMTEC AM4T-1205S-VZ [7] и реле Omron G5V-2;
- силовая часть (12В): Свинцово-кислотный аккумулятор (12 В, 2.2 А·ч), выполняющий также функцию противовеса.

Защита силовой цепи обеспечена предохранителем $F1$ (3А, тип F). Коммутация питания осуществляется через реле РПМ32Б с управлением от двух герконов (вкл/выкл).

Структурная схема разработанной системы управления сферического робота представлена на рис. 2.

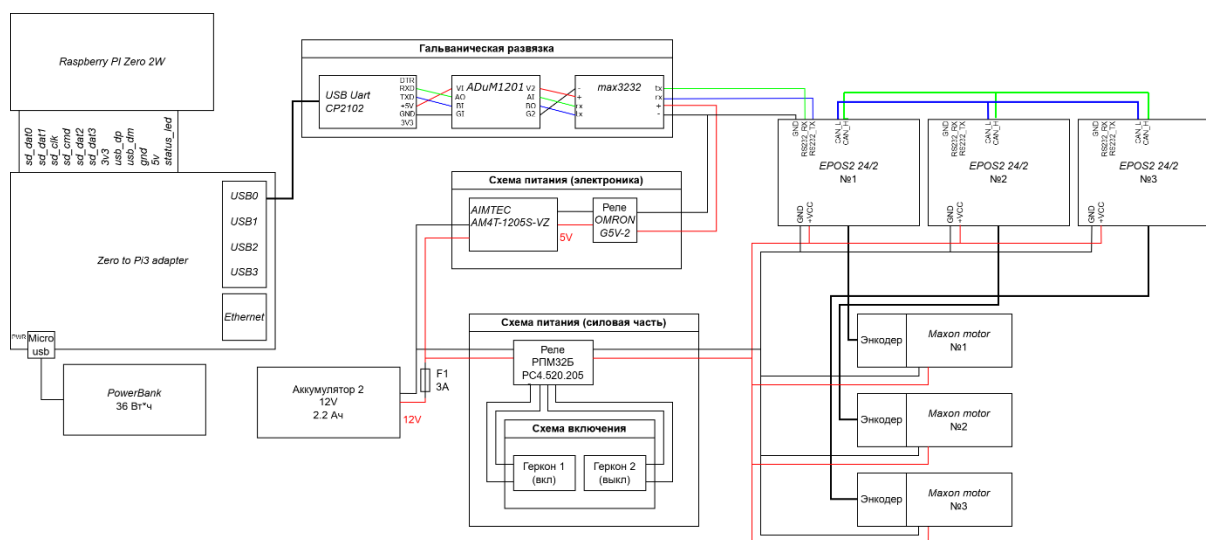


Рис. 2. Структурная схема разработанной системы управления сферического робота

В ходе тестирования разработанной системы были проверены следующие параметры:

Защита питания. При тестовом коротком замыкании в силовой цепи зафиксировано срабатывание предохранителя *F1*. Вычислительный узел и логическая часть не пострадали, что подтверждает эффективность разделения контуров питания.

Стабильность связи. После внедрения гальванической развязки и терминирования CAN-шины задержки в канале управления снизились до значений, определяемых только сетевым протоколом (превышение 200–600 мс, характерное для нестабильной связи, устранено) [8].

Работоспособность приводов. Все три двигателя Maxon получают команды корректно, обратная связь с инкрементальных энкодеров обрабатывается драйверами EPOS2 без потерь пакетов.

Ограничения. Текущая архитектура на базе Linux (Raspberry Pi) не гарантирует детерминированное время отклика, что критично для реализации автономной балансировки. На данном этапе управление осуществляется с внешнего ноутбука. Внедрение алгоритмов балансировки планируется после вычисления коэффициентов регуляторов с учетом нового центра масс.

Разработана система управления сферического робота с учетом анализа отказов предыдущих версий. Ключевые улучшения: гальваническая развязка канала управления, разделение контуров питания, защита по току, сеть CAN для синхронизации приводов.

Планы на следующий этап:

1. Переход на литий-железо-фосфатный аккумулятор для силовой части (увеличение емкости, снижение веса).
2. Компенсация изменения центра масс (добавление груза или перераспределение компонентов).
3. Вынос критического контура балансировки на микроконтроллер реального времени или использование встроенных функций EPOS2.
4. Разработка собственного модуля питания с многоуровневой защитой вместо временного PowerBank.

Список используемых источников

1. Караваев Ю. Л. Динамика и управление движением сферических роботов: дис. ... д-ра техн. наук: 2.5.4. М., 2023. 350 с.
2. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: Профессия, 2020. 752 с.
3. Raspberry Pi Ltd. Raspberry Pi Zero 2 W Product Brief. 2024. 5 с. Document ID: RP-008359-DS-1.
4. Maxon Motor AG. EPOS2 Positioning Controllers Communication Guide. 2012. 54 с. Document ID: rel3458.

5. Analog Devices Inc. ADuM1200/ADuM1201 Dual-Channel Digital Isolators Data Sheet. 2006. 20 с. Rev. C.
6. Maxon Motor AG. EPOS2 24/2 Hardware Reference. 2017. 43 с. Document ID: rel7748.
7. AIMTEC Inc. AM3T-VZ Series 3 Watt DC-DC Converter Datasheet. 2023. 7 с.
8. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 5-е изд. СПб.: Питер, 2019. 992 с.

УДК 629.331.015.3

УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБИЛЯ С ПОМОЩЬЮ АКТИВНЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

И. П. Мыльников (студент группы ИКТ-2553, СПбГУТ), mylnikov.ip@sut.ru
Ю. В. Шарихина (к.ф.-м.н., доцент кафедры физики, СПбГУТ)

Активные аэродинамические панели, которые повышают динамические характеристики автомобиля, все чаще используют в автомобилестроении. При помощи их можно повысить прижимную силу и снизить сопротивление воздуха без существенного увеличения массы автомобиля. Благодаря широкому доступу к таким технологиям, как 3D-принтеры, микроконтроллеры и CAD-программы, пользователи получают свободу в выборе конструктивных решений при производстве аэродинамических панелей. Данная технология открывает возможности для оптимизации расхода топлива, заряда батареи и повышения маневренности автомобиля.

Активные аэродинамические панели, коэффициент лобового сопротивления (C_d), 3D-печать, граунд-эффект

IMPROVEMENT OF VEHICLE DYNAMIC CHARACTERISTICS USING ACTIVE AERODYNAMIC PANELS

Mylnikov I.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

Active aerodynamic panels, which improve a vehicle's dynamic characteristics, are increasingly being used in the automotive industry. Thanks to them, it is possible to increase downforce and reduce air resistance without significantly increasing the vehicle's weight. Due to widespread access to technologies such as 3D printers, microcontrollers, and CAD software, users have the freedom to choose design solutions when manufacturing aerodynamic panels. This technology opens up opportunities for optimizing fuel consumption, battery charge, and improving vehicle maneuverability.

Key words: active aerodynamic panels, drag coefficient (C_d), 3D printing, ground effect

В данной работе разработана Remote Controle – модель (rc – модель) с уникальным аэродинамическим обвесом.

Коэффициент сопротивления зависит от общей формы объекта, шероховатости поверхности и скорости.

$$R = V^2 * C_d * A, \quad (1)$$

где R – сопротивление, V^2 – скорость объекта, C_d – коэффициент сопротивления, A – фронтальная площадь.

Практическое применение данной формулы продемонстрировано на эволюции кузовов автомобилей (рис.1).



Рис. 1. Обтекаемость кузовов на разных исторических моделях машин [1]

В промышленности при производстве транспортных средств (ТС) широко используют специальные накладки на кузов. Аэродинамический обвес – один из предметов тюнинга автомобиля. Его установка позволяет улучшить аэродинамические свойства ТС при движении на больших и малых скоростях.

В аэродинамический обвес обычно входят: воздухозаборник (обеспечивает свободную циркуляцию воздуха, снижает риск возгорания и выхода из строя элементов из-за перегрева); антикрыло (позволяет создать разницу давлений за счет разницы в скорости движения воздуха), передний и задний бамперы, накладки на пороги, решетка радиатора, дефлекторы на окнах; расширители колесных арок, спойлер [2-4] (рис. 2).



Рис. 2. Передний спойлер

Во время движения между трассой и нижней частью автомобиля создается большое давление, в то время как над крышей давление низкое. Высокое давление под автомобилем возникает за счет скорости движения воздуха. Нижний спойлер не пропускает потоки воздуха под дно машины. Под автомобилем образуется область, где давление понижено, и ТС притягива-

ется к земле за счет разницы давлений [5]. Для улучшения эффекта подобные элементы могут добавлять и по боковым сторонам корпуса – таким образом область под днищем герметизируется от потоков ветра.

В противовес спойлерам был придуман инвертированный закрылок (рис. 3), который не ограничивает попадание воздуха под днище автомобиля, но ускоряет его движение настолько, что давление снижается. Воздух проходит по узкому коридору, образованному прогнутым дном и трассой. При этом спереди и сзади у автомобиля дно, наоборот, приподнято, чтобы беспрепятственно впускать и выпускать воздух. На задней части корпуса обычно расположены диффузоры – специальные пластинки, которые устанавливают по направлению движения воздуха, они предназначены для разделения выходящего воздуха и его ускорения.

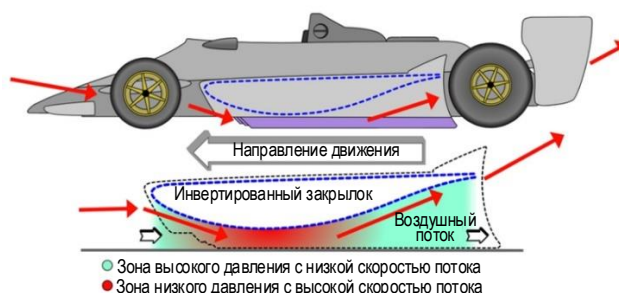


Рис. 3. Граунд эффект на примере Lotus F1

Аэродинамические панели дают преимущество в аэродинамических характеристиках лишь на больших скоростях. На малых скоростях они ухудшают движение ТС. Аэродинамические панели-трансформеры способны изменять аэродинамические характеристики автомобиля с изменением скорости, при этом не ухудшая маневренность автомобиля и не препятствуя его разгону.

Обвесы устанавливают с фронтальной, задней и боковых частей ТС (рис. 4). С передней части помещают аэродинамическую юбку (сплиттер).

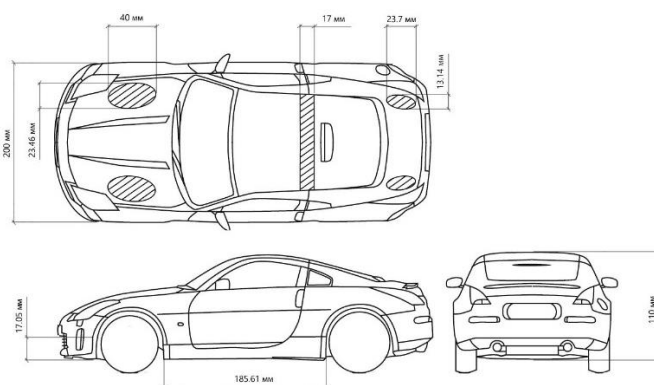


Рис. 4. Чертеж автомобиля с аэродинамическими обвесами

За основу проекта была взята автомобиль RS – модели Nissan 350 Z [6]. В таблице 1 представлены ее аэродинамические характеристики до модернизации.

Экспериментально было доказано, что эффекты складываются почти линейно, пока каждый элемент небольшой и не взаимодействует с «соседом» [7]. Обоснование линейности: C_d – аэродинамическое сопротивление ТС в целом – сумма локальных драг-потоков, каждый из которых пропорционален динамическому давлению $q = \frac{1}{2} \rho v^2$ и локальной площади, ρ – плотность среды ΔA_i . Если модернизация кузова не меняет глобальный поток воздуха (отрыв, вихри и т.д.), то $\Delta C_{d_i} \approx \text{const}$ $C_{d_total} = C_{d_0} + \Sigma \Delta C_{d_i}$. Это суперпозиция малых возмущений, аналог теории крыла Прэндтля, где индуктивное сопротивление складывается из вкладов каждого сечения [8]. Это справедливо для таких составляющих аэродинамического обвеса, как Flat-floor, сплиттер, дефлекторы, зеркала, антенны – местные уступы, а также диффузор и спойлер (малого угла до 10°).

В работе проведены расчеты аэродинамического сопротивления по данной формуле: $\Delta C_d = \Delta F / (0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A)$ для элементов, указанных в таблице 2.

ТАБЛИЦА 1. Ожидаемые результаты

Аэродинамические характеристики машины	Nissan 350z
Коэффициент лобового сопротивления (C_{d_0})	0.29
Коэффициент лобового сопротивления (расчетное значения C_{d_total})	0.10

ТАБЛИЦА 2. Расчет характеристик аэродинамического сопротивление элементов обвеса

№	Элемент	Источник	ΔC_d
1	Flat-floor (полностью закрытое днище)	SAE 2019-01-0318	–0,040
2	Диффузор 7° + страты	Windshear CFD, Nissan 350Z, 2018	–0,030
3	Передний сплиттер	NASA TM-2004-213244	–0,020
4	Колесные дефлекторы / skirts/ юбка.	JSAE 20074657	–0,020
5	Закрытые арки + «air-curtains»	SAE 2011-01-0156, Audi R8 CFD	–0,015

№	Элемент	Источник	ΔC_d
6	Сглаженная подвеска	Porsche 997 GT3 wind-tunnel	–0,015
7	Убрать наружные зеркала	Audi R8 LMS	–0,010
8	Задний спойлер	Windshear, 350Z, 2018	–0,015
9	Мелкая шлифовка	SAE «body-detail» корреляция	–0,005
10	Активная решетка (100 % закрыта)	SAE 2020-01-0678	–0,008
11	Gurney-flap (10 мм, выдвижной)/закрылок	NASA TM-2018-219047	–0,007
12	Вакуумный диффузор (BL suction, 30 м/с)	JSAE 2019-08009	–0,012
13	Активные дефлекторы колес	TS050 CFD, 2017	–0,003

На рисунке 5 представлена 3D-модель автомобиля с обвесами.

В закрытом состоянии элементов



В открытом состоянии элементов



Рис. 5. 3D-модель автомобиля с обвесами

Аэродинамические обвесы придают автомобилю более обтекаемую форму, что уменьшает сопротивление воздуха, увеличивает маневренность и разгон машины. Сопротивление является очень важным фактором для достижения экономии топлива и максимальной скорости. Уменьшение коэффициента сопротивления с десятых до сотых увеличивает пробег, а электромобилям позволяет проехать дальше на одном заряде, если он будет более аэродинамичен.

Список используемых источников

1. mysku.club. Официальный сайт. URL: <https://mysku.club> (дата обращения: 29.04.2026).
2. 2010-2012 Front Lower Race Splitter: Boss 302, GT/CS and GT Mustang Z32-12P900. (дата обращения: 29.04.2026).
3. Технологии MotoGP: Тема дня – граунд-эффект – как его применяют в Формуле-1 и в Ducati // МОТОГОНКИ.РУ. (дата обращения: 29.04.2026).
4. Аэродинамический обвес на машину. URL: https://amastercar.ru/tuning/body_auto_tuning_8.shtml (дата обращения: 29.03.2025).
5. Бернацкий В. В., Степанов И. С., Кондрашов В. Н. Аэродинамика автомобиля. Методы испытаний: учебное пособие. М.: Университет машиностроения (МАМИ), 2013. 153 с.
6. Технические характеристики Nissan 350Z 2003. URL: <https://carspec.info/nissan-350z-2003> (дата обращения: 28.03.2025).
7. Мартынов А. К. Экспериментальная аэродинамика. Москва: Государственное издательство оборонной промышленности, 1950. 528 с.
8. Аэродинамика автомобиля. Под ред. В. Г. Гухо. Перевод с нем. Н. А. Юниковой. Под ред. С. П. Загородникова. М.: Машиностроение, 1987. 424 с.

УДК 621.396

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ НАД ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ НА ТРАССЕ «ЗЕМЛЯ - КОСМОС»

Н. С. Пирогов (студент группы РТ-42м СПбГУТ), pirogov.ns@sut.ru

В статье рассмотрены физические механизмы распространения сигналов в спутниковых системах связи на трассе «Земля-Космос». Проанализированы основные дестабилизирующие факторы: ионосферная и тропосферная рефракция, вращение Фарадея, многолучевая интерференция с райсовскими и рэлеевскими замираниями, а также частотно-зависимое поглощение в газах и осадках. Особое внимание уделено дождевому затуханию в Ku-диапазоне (14 ГГц) и влиянию угла места спутника на суммарные потери. На примере геостационарного спутника «Экспресс-АМ5» и земной станции во Владивостоке проведено численное моделирование согласно рекомендации ITU-R P.618. Установлено, что при интенсивности дождя 50 мм/ч потери достигают 17 дБ, а снижение угла места ниже 10° приводит к резкому росту ошибок псевдодальности из-за многолучевости. Полученные результаты имеют практическую значимость для обеспечения устойчивой спутниковой связи в морских и прибрежных условиях.

спутниковые системы связи, распространение радиоволн, морская поверхность, многолучевая интерференция, дождевое затухание, поляризационные искажения

ANALYSIS OF RADIO SIGNAL PROPAGATION OVER A WATER SURFACE ON THE EARTH-SPACE PATH

Pirogov N.

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunication

The paper examines the physical mechanisms of signal propagation in satellite communication systems along the Earth-space path. The main destabilizing factors are analyzed: ionospheric and tropospheric refraction, Faraday rotation, multipath interference with Rician and Rayleigh fading, as well as frequency-dependent absorption by gases and precipitation. Particular attention is paid to rain attenuation in the Ku-band (14 GHz) and the effect of the satellite elevation angle on total path loss. Numerical simulation is carried out according to ITU-R P.618 recommendation using the example of the geostationary satellite Express-AM5 and an earth station in Vladivostok. It is found that at a rain rate of 50 mm/h, the losses reach 17 dB, while a decrease in elevation angle below 10° leads to a sharp increase in pseudorange errors due to multipath effects. The obtained results are of practical importance for ensuring robust satellite communication in maritime and coastal environments.

Key words: satellite communication systems, radio wave propagation, sea surface, multipath interference, rain attenuation, polarization distortion

Распространение сигналов в спутниковых системах связи – критически важная задача, обусловленная электродинамикой трассы «Земля–Космос» и широким спектром приложений (навигация, зондирование, телекоммуникации) [1-5]. Физика диапазонов L, C, Ku, Ka накладывает ограничения из-за атмосферных явлений и поляризационных искажений. Ключевые эффекты: ионосферная задержка, вызывающая фазовые набег и вращение Фарадея; тропосферная рефракция, вносящая угловые погрешности; многолучевая интерференция с замираниями по Райсу или Рэлею, которые зависят от наличия прямой видимости и свойств отражающей поверхности [1].

Устойчивость сигналов в верхних слоях атмосферы в сочетании с помехоустойчивым кодированием (LDPC, Turbo) и адаптивными антенными решетками делает их основой помехоустойчивой космической связи, где наземные системы недостаточно глобальны.

Специфика трассы – от интерференционных минимумов у LEO-спутников до аномальной рефракции и дождевого затухания в диапазонах Ku-Q/V – требует специализированных компенсационных алгоритмов. Используемые частоты 1-40 ГГц обеспечивают квазиоптическое распространение, но при прохождении всей атмосферы модифицируются ионосферной и тропосферной плазмой, а именно рассеянием и деполяризацией [2]. Основные эффекты: дождевое затухание – до 20-30 дБ на частотах выше 10 ГГц, ионосферные мерцания – флуктуации фазы до 10-15 Гц и потеря когерентности, так же из-за резонансного взаимодействия с молекулами кислорода и водяного пара на частотах 22 и 60 ГГц происходит затухание радиоволн в атмосфере – от 0,5 до 2 дБ/км.

Влияние на распространение сводится к четырем группам факторов: тропосферно-метеорологические, а именно осадки и облака, вызывающие рост шумовой температуры антенны на 30-50 % при дожде более 25 мм/ч; ионосферные, включающие полное электронное содержание ТЕС, спорадические слои, которые создают групповую задержку до 10-30 нс в L-диапазоне, а также вращение Фарадея; подстилающая поверхность, обуславливающая многолучевость с замираниями до 20-30 дБ и дифракционные потери 10-15 дБ для низкоорбитальных спутников LEO; и расположение спутника относительно земной станции, где низкие углы места увеличивают наклонную дальность в 10-12 раз, что требует адаптивной коррекции приема [2].

Расчет суммарной мощности и сдвига фазы выполнен на основе двухлучевой интерференционной модели, в которой принимаемый сигнал рассматривается как результат когерентного сложения прямого поля,

приходящего от спутника, и поля, однократно отраженного от морской поверхности. Разность хода между лучами определяется:

$$\Delta r = 2h \cdot \sin\theta$$

где h – высота антенны над уровнем моря, θ – угол места спутника.

Сдвиг фазы:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta r}{\lambda}$$

С комплексным коэффициентом отражения, учитывающим потери и фазовый сдвиг, позволяет найти результирующую комплексную амплитуду сигнала, а значит, изменение мощности и фазовую ошибку, пересчитываемую в эквивалентную ошибку псевдодальности (рис. 1).

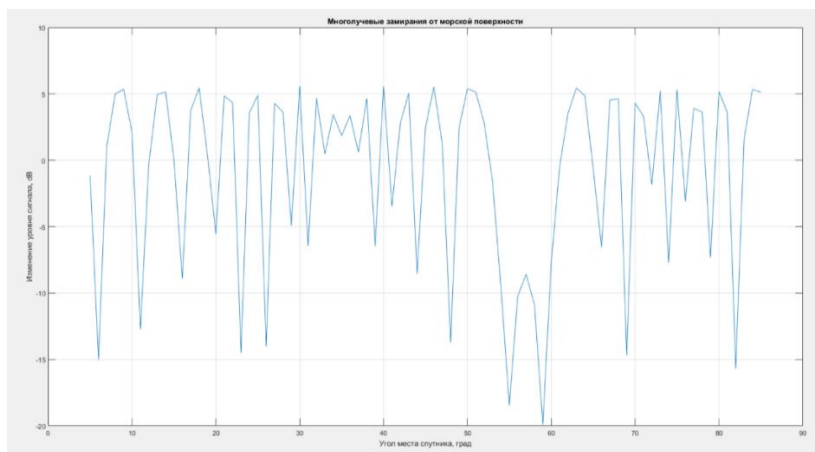


Рис. 1. Зависимость ошибки псевдодальности от угла места спутника

При углах места менее 10° интерференционная составляющая максимальна, а ошибки псевдодальности достигают длины волны несущей, что подтверждает уязвимость морской навигации к многолучевости от низких спутников и требует подавления отраженных сигналов или исключения таких измерений в прибрежных и судовых условиях.

Ниже представлены результаты моделирования потерь на трассе распространения по стандарту ITU-R P.618 [3]. В качестве примера выбран спутник «Экспресс-АМ5» [5], находящийся в геостационарной орбитальной позиции 140° в.д., и Ku-диапазон (14 ГГц на восходящей линии). Земная станция расположена во Владивостоке $43,1^\circ$ с.ш., $131,9^\circ$ в.д., что обеспечивает угол места порядка $30\text{--}35^\circ$. Моделирование выполнено для условий ясного неба и пяти уровней дождевых осадков (от 1 до 50 мм/ч), что позволяет оценить поведение канала в широком диапазоне

климатических условий. Потери в атмосферных газах составили $A_g = 0.03$ дБ, облаках и тумане $A_c = 0.22$ дБ, тропосферные сцинтилляции $A_s = 0.09$ дБ. Зависимость суммарных потерь (A_t) на трассе от интенсивности дождя представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета потерь на трассе

Дождь, мм/ч	A_g (дождевое затухание), дБ	A_t (суммарные), дБ
0	0.00	0.33
1	0.21	0.48
5	1.25	1.50
10	2.71	2.95
25	7.64	7.88
50	17.00	17.25

Результаты моделирования представлены на рисунках 2 и 3.

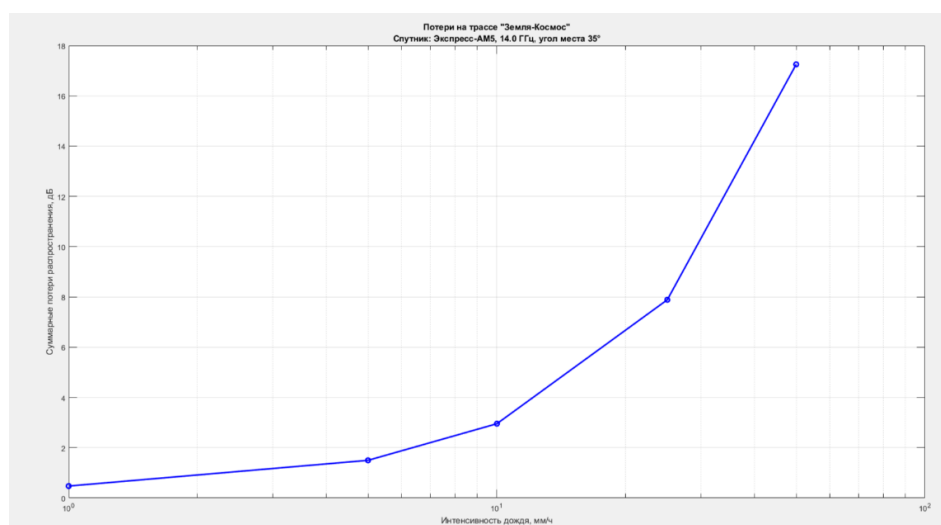


Рис. 2. Зависимость суммарных потерь на трассе «Земля–Космос» от интенсивности дождя (Ku-диапазон, 14 ГГц, угол места 35°)

При фиксированном угле места 35° в Ku-диапазоне суммарные потери на трассе резко возрастают с увеличением интенсивности осадков: при дожде до 5 мм/ч потери составляют около 1–2 дБ, но уже при 25 мм/ч достигают около 8 дБ, а при ливне 50 мм/ч превышают 17 дБ. Это подтверждает, что дождь является доминирующим фактором ослабления сигнала в Ku-диапазоне, и для обеспечения устойчивой связи в регионах с частыми сильными осадками необходимо либо использовать частотно-временную адаптацию, либо переходить на более низкие диапазоны (C, L).

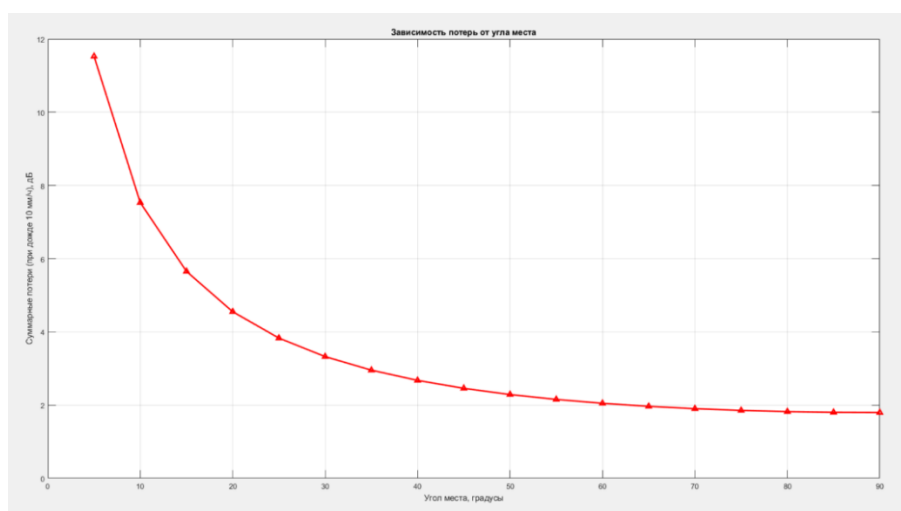


Рис. 3. Зависимость суммарных потерь на трассе от угла места спутника

С уменьшением угла места спутника ниже 10° суммарные потери резко растут, достигая максимальных значений при углах $0-5^\circ$, что связано с увеличением наклонной дальности, более длинным путем сигнала через атмосферу и усилением многолучевой интерференции от подстилающей поверхности. Для углов места выше 30° потери становятся минимальными и слабо меняются, поэтому при планировании спутниковых связей (особенно для морских и прибрежных станций) следует выбирать спутники с углом места не менее $20-30^\circ$, а измерения с углами ниже 10° – отбраковывать или компенсировать специальными алгоритмами.

Проведенный анализ подтверждает, что распространение сигналов в спутниковых системах связи определяется комплексным воздействием атмосферных и поверхностных факторов, среди которых ключевыми являются ионосферные задержки, тропосферная рефракция, многолучевая интерференция и дождевое затухание, особенно критичное в Ку-диапазоне и выше. Результаты моделирования для трассы «Владивосток-Экспресс-АМ5» показывают, что при увеличении интенсивности осадков до 50 мм/ч суммарные потери превышают 17 дБ, а снижение угла места спутника менее 10° приводит к резкому росту ошибок псевдодальности из-за многолучевости. Для обеспечения надежной спутниковой связи в морских и прибрежных условиях необходимо использовать спутники с углом места не ниже $20-30^\circ$, а при сильных осадках переходить на более низкие диапазоны (С, L).

Список используемых источников

1. Крылов Г. М. Спутниковые системы связи: распространение радиоволн, помехоустойчивость, адаптация. М.: Радиотехника, 2015. С. 272-280.

2. Камнев В. Е., Черкасов В. В., Чечин Г. В. Спутниковые сети связи: учебное пособие. М.: Альпина Паблишер, 2004. С. 518-536.
3. ITU-R Recommendation P.618-13. Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. Geneva: ITU, 2017.
4. ITU-R Recommendation P.676-12. Attenuation by atmospheric gases. Geneva: ITU, 2019.
5. Вегера Д. В., Власов В. Н., Писаренко В. П., Терещенко В. Д. Моделирование спутниковой линии связи «Экспресс-АМ5» // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2018. № 4. С. 34-37. URL: <http://www.nauteh-journal.ru/files/963ffb0f-5130-4604-8ab8-d375c4b935d9> (дата обращения: 12.02.2026).

Статья представлена кандидатом технических наук, доцентом кафедры РТ СПбГУТ, доцентом О. А. Симониной.

УДК 004.946

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

И. Ю. Попов (студент группы ИСТ-441м, СПбГУТ), popov.iu@sut.ru

Существующие геоинформационные системы не в полной мере удовлетворяют потребности коллаборативной картографии и гуманитарных наук в инструментах многоаспектного анализа пространственных объектов. В работе представлены идеи децентрализованных геоинформационных моделей на основе методологии многоаспектного моделирования и архитектуры F2F, обеспечивающих автономность, управляемую информационную открытость и семантическую связанность данных в соответствии с концепциями Web 3.0/4.0.

децентрализованные геоинформационные системы, многоаспектное моделирование, прокси модели, F2F, Web 3.0, Web 4.0

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF MODELS FOR DECENTRALIZED GEOINFORMATION SYSTEMS

Popov I.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

Existing geoinformation systems do not fully meet the needs of collaborative cartography and the humanities for tools for multi-aspect analysis of spatial objects. The paper presents the ideas of decentralized geoinformation models based on the methodology of multi-aspect modeling and the F2F architecture, which provide autonomy, controlled information openness, and semantic data connectivity in accordance with the concepts of Web 3.0/4.0.

Key words: *decentralized geographic information systems, multidimensional modeling, proxy models, F2F, Web 3.0, Web 4.0*

Современные геоинформационные системы (ГИС) достигли значительных успехов в области обработки пространственных данных, однако их архитектура в большинстве случаев остается централизованной, что порождает ряд противоречий [1]. Во-первых, существует потребность в децентрализованных решениях для коллаборативной картографии, тогда как существующие платформы ориентированы на единый центр управления данными. Во-вторых, гуманитарные науки нуждаются в инструментах для представления и анализа многоаспектной информации о пространственных объектах и событиях, включая семантические и темпоральные связи,

что затруднительно реализовать в рамках традиционных ГИС [2, 3]. В связи с этим актуальной задачей является разработка моделей децентрализованных геоинформационных систем (ДГИС), которые позволили бы объединить автономные, независимые источники геоданных в единую киберсреду, соответствующую принципам Web 3.0 и Web 4.0 – принципам агентности, информационного самообслуживания и управляемой информационной открытости.

В данной работе представлены идеи построения децентрализованных геоинформационных моделей с использованием аппарата теории множеств и механизмов взаимодействия через прокси-агентов с помощью URL-адресов.

В этом контексте децентрализованная геоинформационная система представляет собой совокупность автономных, семантически связанных моделей природно-техногенных геосистем. Каждая такая модель является независимой и принадлежит конкретному участнику (владельцу), что позволяет гибко управлять доступом к данным и отражать ту информацию, которая является значимой для данного субъекта [4].

Для формального описания структуры ДГИС воспользуемся аппаратом теории множеств. Введем множество S , представляющее собой всю моделируемую географическую область:

$$S = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}, \quad (1)$$

где G_i – автономная геоинформационная модель отдельной природно-техногенной геосистемы.

Каждая модель G_i , в свою очередь, может быть представлена как кортеж, включающий атрибутивную информацию, метрические данные (геометрию) и описание связей с окружающими геосистемами:

$$G_i = \langle A, M, R \rangle, \quad (2)$$

где A – множество атрибутов, описывающих различные аспекты геосистемы (социальные, экологические, экономические, исторические и др.); M – метрическая информация, определяющая пространственное положение и геометрию объекта; R – множество отношений с другими геосистемами.

Отношения R могут быть различной природы: топологические («граничит», «содержит», «пересекается»), иерархические («является частью», «включает»), семантические («связан по смыслу», «является источником влияния»). Важной особенностью предлагаемой модели является то, что эти

отношения задаются не в едином централизованном реестре, а в рамках каждой автономной модели независимо.

Вся совокупность геосистем S с учетом отношений между ними образует децентрализованную геоинформационную киберсреду. Такая среда не имеет единого центра управления, что соответствует принципам децентрализации и устойчивости к отказам.

Ключевой проблемой децентрализованных систем является обеспечение взаимодействия между независимыми узлами. В традиционных ГИС связи между объектами жестко зафиксированы в единой базе данных. В предлагаемой модели взаимодействие осуществляется посредством прокси-агентов и динамического разрешения URL-адресов (URL).

Рассмотрим две автономные геосистемы G_a и G_b , принадлежащие разным владельцам. Для того чтобы система G_a могла учитывать наличие и свойства системы G_b , в структуру G_a вводится прокси-модель P_b . Эта прокси-модель представляет собой упрощенное отображение внешней геосистемы G_b в контексте модели G_a . Формально прокси-модель может быть описана как:

$$P_b = \langle Info, G, Border, URI \rangle, \quad (3)$$

где *Info* – основная атрибутивная информация о внешней геосистеме, необходимая для работы G_a ; G – геометрия границы соприкосновения; *Border* – описание границы между G_a и G_b ; *URI* – унифицированный идентификатор ресурса (URL-адрес), указывающий на расположение полной модели G_b в сети. Упрощенная схема модели такой децентрализованной системы представлена на рисунке 1б.

При необходимости обращения к полной версии внешней геосистемы G_b (например, для получения детализированных данных или выполнения совместного анализа) модель G_a инициирует запрос по адресу, хранящемуся в поле *URI* прокси-модели. Таким образом, переход от одной геосистемы к другой осуществляется через разрешение URL-адреса, который ведет к контексту другого владельца данных.

В рамках архитектуры friend-to-friend (F2F) такой переход имеет особый смысл. Поскольку F2F-сети предполагают установление связей только между доверенными узлами (друзьями), то наличие прокси-модели с корректным *URI* означает, что владельцы G_a и G_b находятся в доверительных отношениях. Пользователь, работающий с системой G_a , при переходе

по URL фактически перемещается в информационный контекст своего контрагента – другого участника сети.

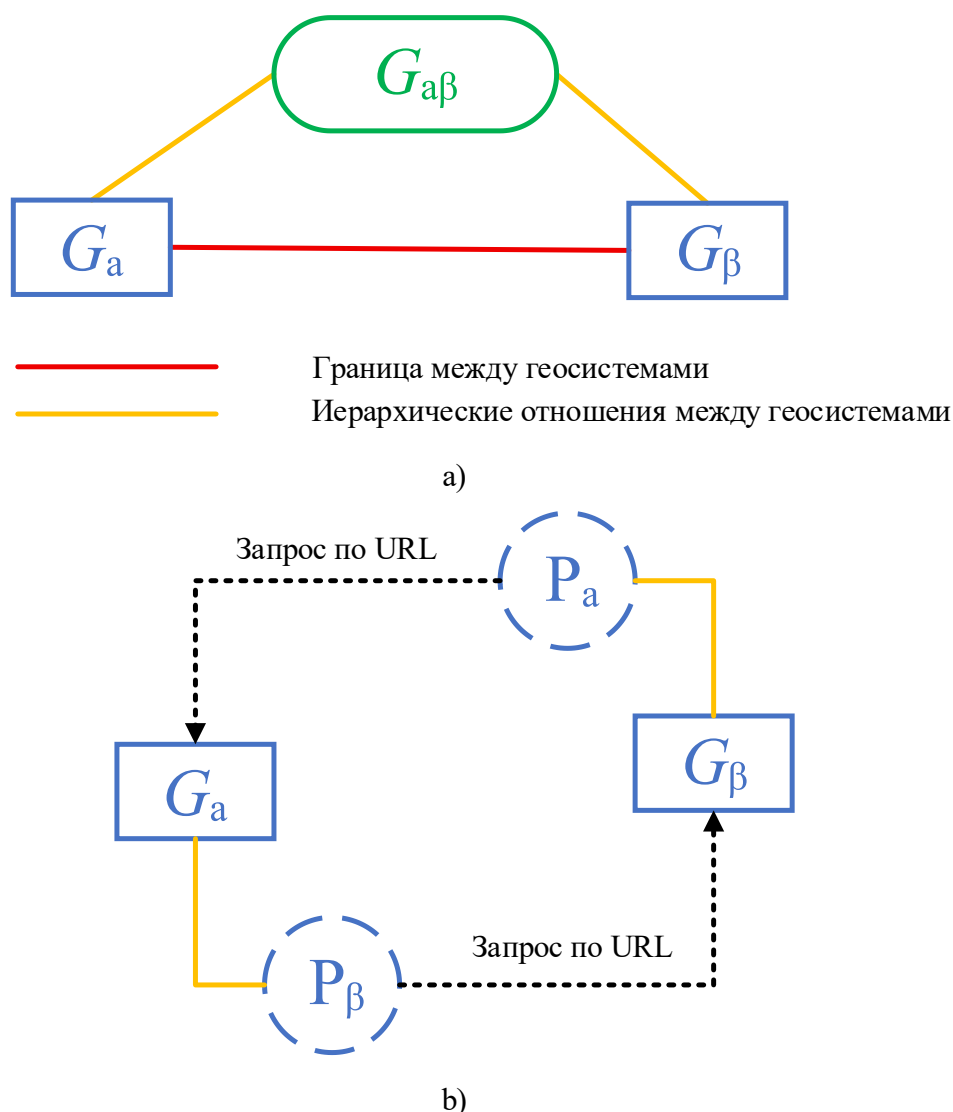


Рис. 1. Схема модели децентрализованной системы: а) топологические отношения между геосистемами; б) упрощенная структура ДГИС

Важно отметить, что *URI* не является статичным. В случае смены местоположения модели G_β (например, при переносе на другой сервер или изменении сетевого адреса) обновленное значение *URI* передается всем связанным системам, включая G_a . Это обеспечивает прозрачность изменений: для пользователя взаимодействие продолжается без необходимости ручной корректировки связей.

Предложенная модель децентрализованной геоинформационной системы, основанная на теории множеств и взаимодействии через прокси-агентов с использованием URL, обладает рядом важных свойств.

Каждая модель G_i существует независимо, ее владелец самостоятельно определяет состав атрибутов A , геометрию M и набор отношений R . Это позволяет отражать специфику конкретной геосистемы без оглядки на единые стандарты, навязываемые централизованной системой, что главным образом подчеркивает автономность такой модели.

Несмотря на автономность, системы могут взаимодействовать за счет единого механизма прокси-моделей и унифицированного способа обращения по *URI*. Это обеспечивает семантическую связанность данных даже при отсутствии центрального координатора [5].

Децентрализация, агентность (каждая модель выступает как автономный агент), информационное самообслуживание (владельцы сами управляют своими данными) и возможность построения киберфизических сред полностью отвечают трендам развития интернета следующего поколения, что соответствует концепциям Web 3.0 и Web 4.0.

Разработанная модель создает основу для построения единой многоцелевой геоинформационной киберсреды, которая может найти применение в коллаборативной картографии, электронном регионоведении, государственном управлении и образовании.

Список используемых источников

1. Иванников А. Д., Кулагин В. П., Тихонов А. Н. Геоинформатика. М.: МАКС Пресс, 2001. 349 с. EDN: RQISOB.
2. Верховая Г. В., Акимов С. В. Интеграция локальных интероперабельных киберсред виртуальных организаций в единую киберсреду постиндустриального общества // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы. Сборник статей XXIV Международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 34-39. EDN: DQHHJN.
3. Верховая Г. В., Акимов С. В. Концепция многоагентной геоинформационной среды // V Научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2021: Материалы XXIII Международной научно-технической конференции, Самара, 23-26 ноября 2021 года. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2021. С. 251-252. EDN: HVMMQP.
4. Верховая Г. В., Акимов С. В. Метод формирования децентрализованных геоинформационных моделей // XXVIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2025): сборник трудов. Санкт-Петербург: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2025. С. 142-146. EDN: IQVPIF.
5. Cheng Z., Wu Y., Song S., Guo Y., Luan Z., Liu Z. A Feature-Based Approach for Organizing Spatial Data of Digital Twin Railway // 2023 IEEE 8th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), Beijing, China. 2023. Pp. 533-539. DOI: 10.1109/ICITE59717.2023.10733858.

Статья представлена научным руководителем, профессором кафедры САР СПбГУТ, доктором технических наук Г.В. Верховой.

УДК 530.145.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ И В ПОЛЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СИЛ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПО «MATHCAD»

М. И. Третьяков (студент группы ФП-21, СПбГУТ), tretyakov.mi@sut.ru
Ю. В. Шарихина (к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры физики, СПбГУТ)

В работе рассмотрено движение микрочастиц в свободном пространстве и в поле потенциальных сил. С помощью программного обеспечения Mathcad выполнено моделирование волновой функции, плотности вероятности нахождения частицы в определенном месте пространства при ее прохождении через потенциальный барьер. Показано влияние высоты потенциального барьера на коэффициенты отражения и прозрачности, а также проявление туннельного эффекта.

микрочастица, уравнение Шредингера, волновая функция, плотность вероятности, потенциальный барьер, туннельный эффект, Mathcad

INVESTIGATION OF MICROPARTICLE MOTION IN FREE SPACE AND IN A POTENTIAL FIELD USING COMPUTER SIMULATION IN MATHCAD

Tretyakov M., Sharikhina Yu.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article considers the motion of microparticles in free space and in a field of potential forces. The wave function, probability density, and transmission of a particle through a potential barrier are studied using Mathcad software. The effect of the potential barrier height on the reflection and transmission coefficients is shown, and the tunneling effect is analyzed.

Key words: microparticle, Schrödinger equation, wave function, probability density, potential barrier, tunneling effect, Mathcad

Развитие микро- и нанoeлектроники требует исследования процессов на уровне отдельных микрочастиц, поведение которых описывают квантово-механическим подходом [1-3]. В работе исследованы свободное движение микрочастицы, волновой пакет и прохождение частицы через потенциальный барьер. Расчеты и построение графиков выполнены в Mathcad, что позволяет наглядно представить изменение волновой функции и плотности вероятности [4, 5].

Движение микрочастицы в свободном пространстве

Состояние микрочастицы в квантовой механике описывают волновой функцией ψ , квадрат модуля которой имеет смысл плотности вероятности нахождения частицы в заданной точке пространства в определенный момент времени [1, 3]. Основным уравнением, описывающим изменение состояния квантовой системы, является уравнение Шредингера [1, 2]:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H}\psi, \quad (1)$$

где i – мнимая единица, $\hbar$ – приведенная постоянная Планка, $\hat{H}$ – оператор Гамильтона, ψ – волновая функция.

Для частицы, движущейся вдоль оси x

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + U(x), \quad (2)$$

где m – масса частицы, $U(x)$ – потенциальная энергия.

Решение уравнения Шредингера для свободной частицы:

$$\psi(x, t) = Ae^{i(kx - \omega t)}, \quad (3)$$

где A – амплитуда волновой функции, k – волновое число, ω – циклическая частота.

Волновое число связано с длиной волны де Бройля выражением:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (4)$$

При моделировании свободного движения электрона в Mathcad были рассчитаны циклическая частота, импульс и волновое число. Из графика 1 (а) видно, что со временем волновая функция смещается вдоль оси координат, что соответствует распространению бегущей волны.

Плотность вероятности нахождения частицы определяется выражением:

$$\rho(x, t) = |\psi(x, t)|^2. \quad (5)$$

Построение графиков плотности вероятности позволило наглядно показать волновой характер движения свободной частицы (рис. 1б). Распределение имеет периодический характер [1, 3].

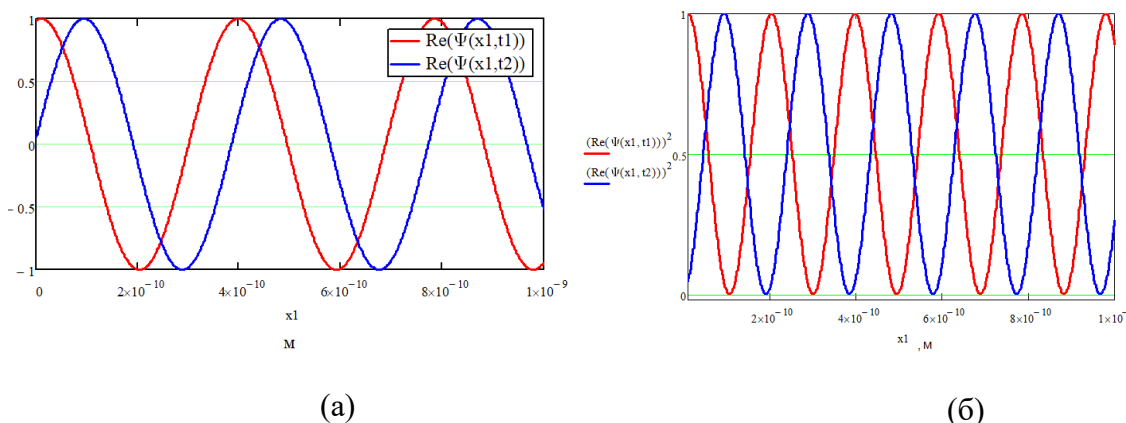


Рис. 1. Графики зависимости действительной части волновой функции (а) и плотности вероятности нахождения частицы в определенном месте пространства (б) свободно двигающейся частицы от координаты x при двух значениях времени

Волновой пакет

Плоская монохроматическая волна является идеализированной моделью: в реальных системах частицу целесообразно описывать волновым пакетом, то есть суперпозицией волн с близкими значениями волновых чисел [1, 3]. Волновую функцию волнового пакета можно представить в виде интеграла по области волновых чисел:

$$\psi(x, t) = \int A(k) * e^{i(kx - \omega t)} dk, \quad (6)$$

где $A(k)$ – весовая функция, определяющая вклад отдельных гармонических составляющих.

Весовая функция позволяет учитывать распределение амплитуд по волновым числам и моделировать более реалистичное состояние микро-частицы. В Mathcad была задана весовая функция (рис. 2а) и построены графики действительной части волновой функции волнового пакета (рис. 2б). Результаты моделирования показали, что волновой пакет смещается в направлении распространения и, в отличие от плоской волны, имеет выраженную пространственную локализацию [1, 3, 5].

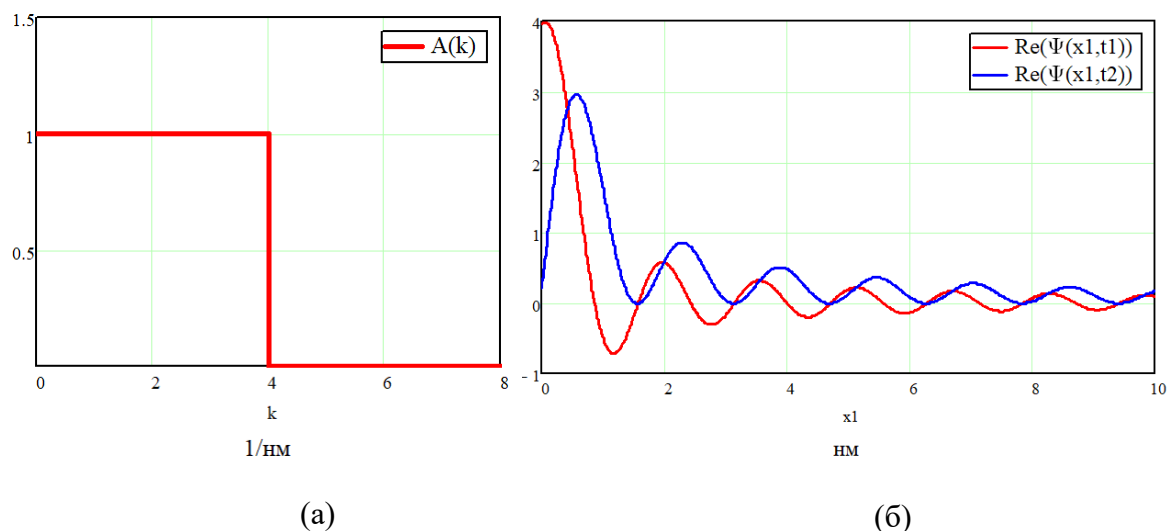


Рис. 2. График весовой функции (а) и графики зависимости изменения действительной части волновой функции волнового пакета от пространственной координаты при двух значениях времени (б)

Движение микрочастицы через потенциальный барьер

Одной из характерных задач квантовой механики является исследование движения частицы в поле потенциальных сил [1]. В работе рассмотрено движение микрочастицы через потенциальный барьер – область пространства, в которой потенциальная энергия частицы отличается от ее значения вне этой области. В классической механике частица с энергией, меньшей высоты барьера U_0 , полностью отражается от него [2]. В квантовой механике волновая функция внутри барьера не обращается в нуль, что соответствует ненулевой вероятности проникновения частицы в классически запрещенную область [1, 3].

Потенциальный барьер можно задать в виде:

$$U(x) = \begin{cases} U_0, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Для областей вне и внутри барьера уравнение Шредингера записывают отдельно, так как потенциальная энергия принимает разные значения. Волновые функции представляют в виде суперпозиции падающей, отраженной и прошедшей волн. Прохождение частицы через барьер описывают коэффициентами отражения R и прозрачности D , зависящими от энергии частицы и высоты барьера [1, 3]. Если энергия частицы меньше высоты барьера, волновое число в области барьера становится мнимым, а волновая функция внутри барьера убывает по экспоненциальному закону:

$$\psi(x) \sim e^{-kx}, \quad (8)$$

где k характеризует скорость затухания волновой функции.

Такое проникновение частицы в область, запрещенную с точки зрения классической механики, называется туннельным эффектом.

В Mathcad выполнено моделирование движения электрона при его взаимодействии с потенциальным барьером [4, 5]. По графику волновой функции (рис. 4) видно, что вне барьера функция осциллирует, а в области барьера ее амплитуда уменьшается.

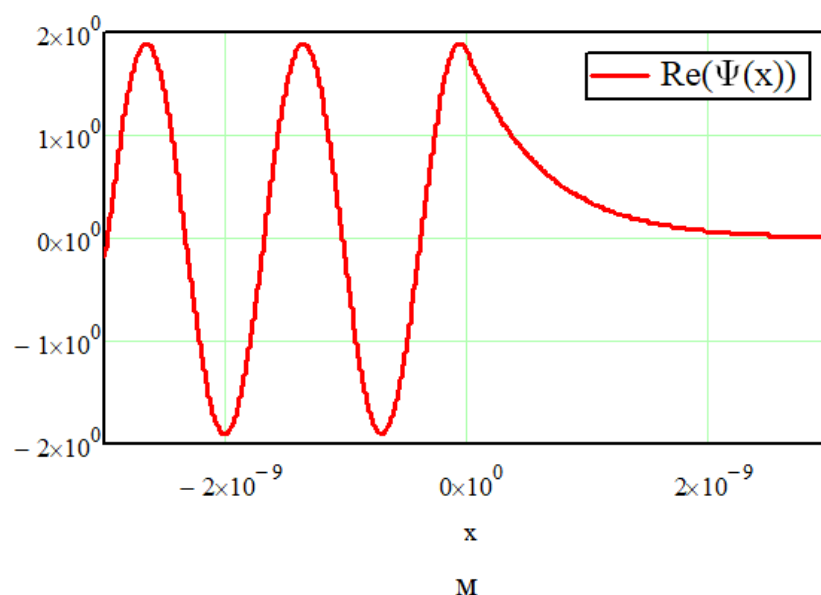


Рис. 3. График зависимости действительной части волновой функции

Плотность вероятности вне барьера имеет гармонический характер, а внутри барьера экспоненциально убывает, что подтверждает туннельное проникновение микрочастицы [1, 3].

На рис. 5а показано, что с увеличением высоты потенциального барьера коэффициент отражения возрастает, а коэффициент прозрачности уменьшается, то есть вероятность прохождения частицы снижается. На рис. 5б видно, что длина туннелирования возрастает при приближении энергии частицы к высоте барьера и уменьшается при увеличении высоты барьера [1, 3].

Таким образом, моделирование подтверждает основные положения квантово-механического описания микрочастиц и эффективность компьютерного анализа подобных физических процессов [4, 5].

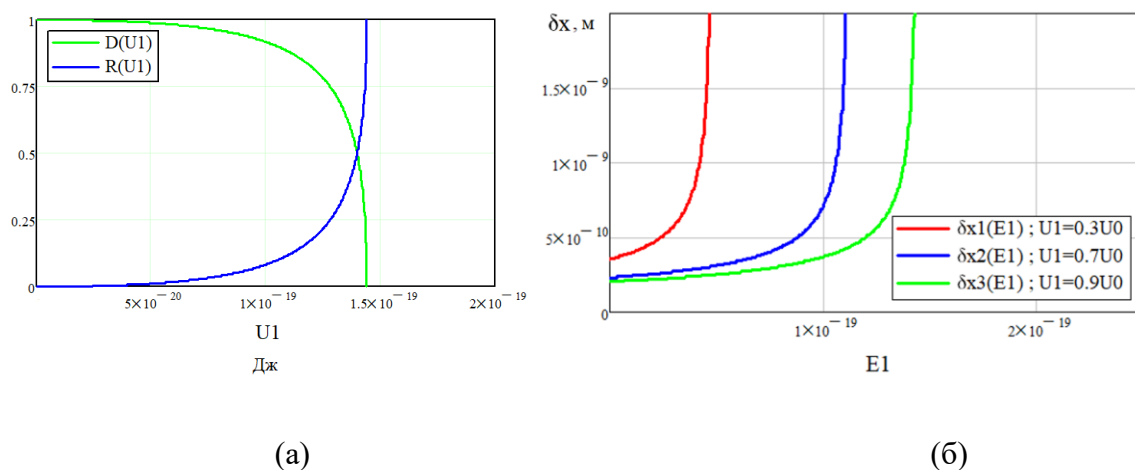


Рис. 4. Графики зависимости коэффициента отражения R и коэффициента прозрачности D от высоты потенциального барьера U_1 (а) и график зависимости длины туннелирования от энергии микрочастицы E_1 для разных значений потенциального барьера U_1 (б)

Список используемых источников

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. 6-е изд., испр. М.: Физматлит, 2004. 800 с.
2. Матвеев А. Н. Атомная физика: учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1989. 439 с.
3. Гриффитс Д. Введение в квантовую механику. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2014. 424 с.
4. PTC Mathcad Prime 11.0.1.0 Help Center. URL: <https://support.ptc.com/help/mathcad/r11.0/en/> (дата обращения: 04.04.2026).
5. Евсевичев Д. А., Самохвалов М. К. Компьютерное моделирование физических процессов в микро- и нанoeлектронике: лаб. практикум. Ульяновск: УлГТУ, 2017. 63 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

УДК 004.42

АРХИТЕКТУРА И РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ БИБЛИОТЕКИ НА ZIG VULKAN С С-ИНТЕРФЕЙСОМ СОВМЕСТИМОСТИ ДЛЯ МЕЖЪЯЗЫКОВОЙ ИНТЕГРАЦИИ

А. А. Баранов (студент группы РЭ-2511, СПбГУТ), baranov1.aa@sut.ru
П. А. Шиян (старший преподаватель кафедры ИКД, СПбГУТ)

Статья посвящена созданию универсального инструмента для работы с графикой, который можно использовать в проектах на разных языках программирования. Основная идея заключается в том, чтобы написать эффективное ядро на языке Zig, использующее возможности Vulkan, и сделать его доступным для других языков (C++, Rust) через стандартный C-интерфейс. Это позволяет избежать дублирования кода и проблем с совместимостью. В тексте описано, как устроена библиотека внутри, как она управляет памятью и ресурсами видеокарты, а также как правильно передавать данные между языками. Тесты показали, что такой подход работает быстро и надежно, упрощая разработку сложных графических приложений.

Zig, Vulkan, C ABI, FFI, межъязыковая интеграция, рендеринг, системное программирование

GRAPHICS LIBRARY IN ZIG/VULKAN WITH C ABI FOR CROSS-LANGUAGE INTEGRATION

Baranov A., Shiyan P.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article presents the development of a universal graphics tool designed for use in projects across multiple programming languages. The core idea is to implement an efficient engine in Zig, leveraging Vulkan API capabilities, and expose it to other languages (C++, Rust) via a standard C interface. This approach eliminates code duplication and compatibility issues. The paper describes the library's internal architecture, memory and GPU resource management, and cross-language data exchange mechanisms. Test results confirm that the solution

delivers high performance and reliability while simplifying the development of complex graphical applications.

Key words: *Zig, Vulkan, C ABI, FFI, cross-language integration, rendering, systems programming*

Введение

В современной разработке программного обеспечения часто используется несколько языков программирования в рамках одного проекта. Это позволяет выбрать наилучший инструмент для каждой конкретной задачи. Однако при работе с графикой возникают сложности. API Vulkan предоставляет широкие возможности для управления видеокартой, но отличается высокой сложностью настройки [1].

Обычно для каждого языка приходится писать свои собственные обертки над Vulkan, что приводит к увеличению объема кода и трудностям в поддержке. Если в одном месте возникает ошибка, ее нужно исправлять во всех версиях библиотеки.

Целью данной работы является создание универсальной графической библиотеки на языке Zig. Zig выбран потому, что он обеспечивает высокую производительность, сравнимую с C, но при этом более удобен и «безопасен» [2]. Библиотека будет брать на себя сложную работу по настройке Vulkan, предоставляя другим языкам простой и удобный интерфейс.

Архитектура решения

Для реализации поставленной задачи библиотека разделена на две логические части.

Внутреннее ядро (на Zig):

- отвечает за прямое взаимодействие с драйвером видеокарты;
- управляет выделением и освобождением памяти;
- реализует логику синхронизации процессов.

Внешний интерфейс (C ABI):

- представляет собой набор функций, оформленных по стандартам языка C;
- доступен для вызова из любого языка, поддерживающего механизм FFI (Foreign Function Interface).

Такое разделение позволяет скрыть внутреннюю сложность системы. Разработчику на высоком уровне абстракции не нужно разбираться в деталях работы Vulkan, достаточно использовать предоставленные функции.

Реализация функционала

Библиотека автоматизирует основные этапы подготовки графической подсистемы к работе. В первую очередь происходит инициализация устройства: программа самостоятельно выбирает подходящую видеокарту и настраивает логическое устройство для дальнейшей работы. Важной частью является управление окном – библиотека отслеживает изменения его размеров и автоматически адаптирует параметры отрисовки, чтобы изображение не искажалось. Для стабильной работы реализована система синхронизации: с помощью специальных механизмов (semaphores и fences) согласуется работа центрального процессора и видеокарты, что предотвращает ошибки при одновременном доступе к данным. Поддержка пользовательских шейдеров реализована через загрузку файлов формата SPIR-V [1], что позволяет гибко настраивать визуальные эффекты без изменения основного кода программы.

Особенности интеграции

Важным аспектом разработки было обеспечение корректной передачи данных между разными языковыми средами. Для этого были применены следующие решения:

1. Использование непрозрачных указателей. Внутренние структуры данных скрыты от внешнего кода. Доступ к ним осуществляется только через специальные указатели-идентификаторы, которые не позволяют напрямую изменять внутреннее состояние библиотеки.

2. Совместимость типов. Типы данных в Zig подобраны так, чтобы их размер и формат полностью совпадали со стандартными типами языка C [2]. Это гарантирует стабильность ABI.

3. Простые коды ошибок. Функции возвращают коды состояния (например, 0 – это «успех», а любое другое значение – это «ошибка»).

Результаты тестирования

Для проверки работоспособности были созданы тестовые приложения на языках C и Rust. Приложение на C продемонстрировало корректную линковку и отсутствие задержек при вызове функций библиотеки. В свою очередь, приложение на Rust, помимо вышеперечисленного, показало возможность удобной и безопасной работы с ресурсами благодаря созданию дополнительных оберток [3].

Заключение

В ходе работы была разработана графическая библиотека, которая упрощает использование API Vulkan в проектах на разных языках. Основные преимущества полученного решения:

- универсальность – возможность использовать единую библиотеку в проектах на C, C++, Rust и других языках благодаря C интерфейсу;
- снижение сложности – скрывание технических деталей настройки Vulkan, что позволяет сосредоточиться на разработке логики приложения;
- высокая производительность – минимальное количество промежуточных слоев и абстракций обеспечивает быстрое исполнение, сравнимое с нативным кодом на C.

Список используемых источников

1. Khronos Group. Vulkan Specification. URL: <https://docs.vulkan.org/spec/latest/index.html> (дата обращения: 03.08.2025).
2. The Zig Programming Language. Documentation. URL: <https://ziglang.org/documentation/0.15.2/> (дата обращения: 22.02.2026).
3. The Rust Programming Language. The Book. URL: <https://doc.rust-lang.org/book/> (дата обращения: 16.05.2025).

УДК 004.85

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМЕШАННОЙ ТОЧНОСТИ НА СКОРОСТЬ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

И. Б. Бондаренко (к.т.н., доцент, доцент кафедры ИУС, СПбГУТ)

П. В. Матвеев (студент группы ИСТ-411м, СПбГУТ), matveev.pv@sut.ru

В работе исследуется влияние смешанной точности (mixed precision) на скорость обучения нейросетей. Рассматриваются подходы с использованием форматов FP16 и FP32 и применением автоматического масштабирования потерь (AMP) для предотвращения числовой нестабильности. Эксперименты проведены на моделях Vision Transformer и BERT, включающих задачи компьютерного зрения и обработки естественного языка. Показано, что применение AMP позволяет ускорить обучение до 1.7 раза для BERT и до 2.5 раза для ViT при сохранении или незначительном улучшении точности моделей. Анализ результатов демонстрирует зависимость эффективности mixed precision от архитектуры и вычислительной плотности модели. Сделан вывод о высокой перспективности смешанной точности как метода оптимизации вычислений, позволяющего уменьшить расход видеопамати, ускорить обучение и повысить энергоэффективность без снижения качества моделей.

нейронные сети, смешанная точность, скорость обучения, ViT, BERT

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF MIXED PRECISION ON THE TRAINING SPEED OF MACHINE LEARNING MODELS

Bondarenko I., Matveev P.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper investigates the impact of mixed precision on the training speed of neural networks. Approaches using FP16 and FP32 formats and automatic loss scaling (AMP) to prevent numerical instability are considered. Experiments were conducted on Vision Transformer and BERT models, addressing computer vision and natural language processing tasks. The results show that using AMP can accelerate training up to 1.7 times for BERT and up to 2.5 times for ViT while maintaining or slightly improving model accuracy. The analysis demonstrates that the effectiveness of mixed precision depends on the model architecture and computational density. It is concluded that mixed precision is a highly promising method for computational optimization, reducing memory usage, speeding up training, and improving energy efficiency without compromising model quality.

Key words: neural networks, mixed precision, training speed, ViT, BERT

Современные модели машинного обучения, особенно глубокие нейронные сети, требуют значительных вычислительных ресурсов и времени на обучение. С ростом размеров моделей и объемов данных проблема

ускорения обучения становится особенно актуальной. Одним из эффективных подходов к оптимизации вычислений является использование смешанной точности (mixed precision) [1].

Смешанная точность предполагает использование чисел с разной разрядностью (чаще всего FP16 и FP32) в рамках одного процесса обучения. Такой подход позволяет ускорить вычисления и снизить потребление памяти при минимальном влиянии на качество модели.

Цель данной работы – исследовать влияние смешанной точности на скорость обучения и качество моделей на примере архитектур Vision Transformer (ViT) и BERT [2, 3].

Числовые форматы

В стандартном обучении используется формат FP32 (32-битная точность), обеспечивающий высокую числовую стабильность. Однако он требует значительных вычислительных ресурсов.

FP16 (16-битная точность) позволяет:

- уменьшить объем памяти в 2 раза;
- ускорить вычисления;
- повысить пропускную способность GPU [4].

Принцип работы mixed precision

При использовании смешанной точности:

- прямой и обратный проходы выполняются в FP16;
- веса модели и накопление градиентов сохраняются в FP32;
- применяется масштабирование функции потерь (loss scaling) для предотвращения числовой нестабильности [1].

Преимущества смешанной точности:

- ускорение обучения (до 2–3 раз) [1, 4];
- снижение потребления видеопамати;
- возможность увеличения размера батча;
- повышение энергоэффективности.

Ограничения смешанной точности:

- возможная потеря точности;
- проблемы с малыми градиентами (underflow);
- зависимость от аппаратной поддержки (Tensor Cores) [4].

Методика исследования

Эксперименты проводились для двух моделей:

- Vision Transformer (ViT) – задачи компьютерного зрения [2];
- BERT – задачи обработки естественного языка [3].

Сравнивались два режима:

- FP32 (полная точность);
- AMP (automatic mixed precision), реализованный в современных фреймворках машинного обучения [5].

Рассматривались следующие параметры:

- время обучения;
- время одной эпохи;
- точность модели.

Результаты для BERT

Полное обучение модели (fine-tuning = full)

FP32:

- время обучения: ~715–718 сек;
- точность: до ~81%.

AMP:

- время обучения: ~448–457 сек;
- точность: сопоставима.

Ускорение составило примерно 1,5–1,6 раза.

Обучение классификационной головы (fine-tuning = head)

FP32:

- время: ~252 сек;
- точность: ~78–79 %.

AMP:

- время: ~146–151 сек;
- точность: ~77–79 %.

Ускорение – до 1,7 раз.

Вывод по BERT

- наблюдается стабильное ускорение;
- влияние на точность минимально;
- эффект сильнее при полном обучении модели.

Результаты для Vision Transformer (ViT)

Полное обучение (full fine-tuning)

FP32:

- время эпохи: ~171 сек;
- точность: ~0,9883.

AMP:

- время эпохи: ~66–68 сек;
- точность: ~0,989.

Ускорение превышает 2,5 раза.

Обучение головы (head fine-tuning)

FP32:

- время эпохи: ~65 сек;
- точность: ~0,978–0,979.

AMP:

- время эпохи: ~27 сек;
- точность: ~0,977–0,978.

Ускорение составляет 2,3–2,4 раза.

Вывод по ViT

- mixed precision дает значительное ускорение;
- точность сохраняется или незначительно улучшается [2].

Сравнительный анализ

Результаты показывают, что эффективность смешанной точности зависит от архитектуры модели.

Vision Transformer демонстрирует более высокий прирост производительности благодаря:

- большому количеству матричных операций;
- эффективному использованию GPU-ускорителей [2, 4].

BERT показывает более умеренное ускорение, что связано с:

- большей чувствительностью к числовой точности;
- особенностями обработки последовательностей [3].

Интересно отметить, что в некоторых случаях наблюдается небольшое улучшение точности при использовании АМР, что может объясняться эффектом регуляризации [1].

Заключение

Смешанная точность является эффективным инструментом ускорения обучения моделей машинного обучения.

Основные выводы:

- ускорение обучения достигает:
 - до 1,7 раза для BERT;
 - до 2,5 раза для ViT.
- качество моделей сохраняется на сопоставимом уровне.

Таким образом, использование смешанной точности является перспективным направлением оптимизации обучения и должно рассматриваться как стандартный инструмент при работе с современными нейронными сетями.

Список используемых источников

1. Micikevicius P., Narang S., Alben J. et al. Mixed Precision Training // ICLR, 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1710.03740> (дата обращения: 30.03.2026).
2. Dosovitskiy A., Beyer L., Kolesnikov A. et al. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale // ICLR, 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2010.11929> (дата обращения: 30.03.2026).
3. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // NAACL, 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1810.04805> (дата обращения: 30.03.2026).
4. NVIDIA Corporation. Mixed Precision Training Guide // NVIDIA. Docs Hub, 2023. URL: <https://docs.nvidia.com/deeplearning/performance/mixed-precision-training/index.html> (дата обращения: 30.03.2026).
5. Carilli M., Automatic Mixed Precision // PyTorch, 2025. URL: https://docs.pytorch.org/tutorials/recipes/recipes/amp_recipe.html (дата обращения: 30.03.2026).

УДК 004.852

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

И. Р. Волков (студент группы ИСТ-222, СПбГУТ), volkov.ir@sut.ru

Е. В. Коровкина (ассистент каф. СОД, СПбГУТ), korovkina1.ev@sut.ru

В статье представлен сравнительный обзор трех алгоритмов машинного обучения для прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний: логистической регрессии, случайного леса и XGBoost. Проведен анализ точности и ROC-AUC каждого алгоритма на клинической выборке кардиологических пациентов, рассмотрены преимущества и ограничения методов в зависимости от объема данных. Рассмотрена проблема интерпретируемости ансамблевых моделей и ключевые барьеры их применения в медицине.

машинное обучение, сердечно-сосудистые заболевания, логистическая регрессия, случайный лес, XGBoost, классификация, прогнозирование

APPLICATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR MEDICAL DATA ANALYSIS

Volkov I., Korovkina E.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article presents a comparative review of three machine learning algorithms for predicting cardiovascular diseases: logistic regression, random forest, and XGBoost. The accuracy and ROC-AUC metrics of each algorithm were analyzed on a clinical sample of cardiology patients, and the advantages and limitations of methods depending on data volume are considered. The interpretability problem of ensemble models and key barriers to their application in medicine are also discussed.

Key words: machine learning, cardiovascular diseases, logistic regression, random forest, XGBoost, classification, prediction

Сердечно-сосудистые заболевания занимают лидирующие позиции среди причин летальных исходов во всем мире. В масштабах Российской Федерации на долю ССЗ приходится свыше 55 % от общего числа смертей. Внедрение методов ранней диагностики и стратификации рисков является одной из приоритетных задач современной медицины [1]. Традиционные шкалы оценки риска, такие как SCORE и Framingham, оперируют ограниченным набором линейных факторов и не учитывают сложные взаимодействия между клиническими параметрами пациентов. Методы машинного

обучения позволяют преодолеть это ограничение путем анализа большого количества признаков одновременно, включая возраст, уровень артериального давления, содержание холестерина, частоту сердечных сокращений, а также выявлять нелинейные зависимости, недоступные классической статистике [2].

Целью данной работы является оценка эффективности применения алгоритмов машинного обучения для прогнозирования риска сердечно-сосудистых заболеваний с учетом необходимости их интерпретируемости.

Логистическая регрессия – это один из основных методов бинарной классификации. По набору числовых параметров пациента алгоритм вычисляет вероятность наличия заболевания в диапазоне от 0 до 1. Превышение порога 0.5 приравнивается к наличию риска. Главным преимуществом метода является простота интерпретации. Каждому клиническому фактору присваивается числовой коэффициент, по которому можно определить вклад каждого параметра в прогноз. Логистическая регрессия часто используется в качестве базовой модели для сравнения с более сложными подходами [2].

Алгоритм «Случайный лес» создает несколько сотен деревьев решений, каждое из которых обучается на случайных выборках данных и наборе признаков. Все деревья формируют прогнозы параллельно и независимо друг от друга, а итоговый результат определяется путем голосования большинства, что компенсирует ошибки отдельных деревьев. Благодаря этому метод остается устойчив к переобучению, то есть сохраняет точность не только на обучающих, но и на новых данных [2].

Метод экстремального градиентного бустинга, или XGBoost, также основан на ансамбле деревьев решений, однако строит их последовательно. Каждое следующее дерево обучается на ошибках предыдущего, минимизируя таким образом функцию потерь. Такой итеративный процесс позволяет алгоритму эффективно улавливать сложные закономерности в медицинских данных. При этом алгоритм требует тщательной настройки множества гиперпараметров, таких как глубина деревьев, скорость обучения и коэффициент регуляризации, что делает его менее доступным для применения без специализированных знаний [3].

Для оценки эффективности алгоритмов в таблице 1 приведены результаты исследования А. Б. Темирбаевой и А. Алтыбая, в котором авторы протестировали различные модели машинного обучения на единой клинической выборке кардиологических пациентов [2].

ТАБЛИЦА 1. Метрики эффективности алгоритмов машинного обучения на клинической выборке кардиологических пациентов

Параметр	Логистическая регрессия	Случайный лес	Градиентный бустинг
Точность	0.827	0.790	0.777
ROC-AUC	0.797	0.756	0.751

Ансамблевые модели, такие как случайный лес и XGBoost, как правило, превосходят линейные классификаторы за счет способности улавливать нелинейные зависимости и сложные взаимодействия между признаками [3]. Тем не менее в рамках представленного исследования логистическая регрессия превзошла ансамблевые модели по обоим показателям. Анализируя этот результат, можно прийти к выводу, что на выборках малого объема с преимущественно линейной структурой признаков сложные модели склонны к переобучению и уступают более простым алгоритмам.

С развитием цифровой медицины объемы сохраняемой информации стремительно растут. Электронные записи и анализы пациентов формируют масштабные базы данных. При таких объемах линейные классификаторы достигают предела возможностей, и алгоритмы градиентного бустинга выступают предпочтительным инструментом для выявления скрытых нелинейных закономерностей.

Широкое внедрение высокоточных ансамблевых моделей в клиническую практику сдерживается проблемой «черного ящика». Суть проблемы заключается в том, что алгоритм не может просто выдать вероятность патологии, врачу необходимо проследить логику принятия решения для формирования доверия к диагностике. Для решения этой задачи применяются методы объяснимого искусственного интеллекта, в частности метод SHAP. Данный подход позволяет количественно оценить изолированный вклад каждого клинического параметра пациента в итоговый прогноз, благодаря чему результаты сложных моделей становятся прозрачными и интерпретируемыми для врача [4].

Помимо проблемы интерпретируемости, внедрение алгоритмов машинного обучения в медицинскую практику сопряжено с рядом практических ограничений. Качество клинических данных зачастую снижается из-за пропусков в записях, ошибок при заполнении электронных медицинских карт и различий в информационных системах медицинских учреждений.

Помимо этого, в кардиологических выборках распространенные состояния значительно преобладают над редкими осложнениями, что создает дисбаланс классов и приводит к смещению модели в сторону доминирующих диагнозов [1].

Несмотря на указанные ограничения, государство активно способствует внедрению цифровых технологий в клиническую практику, при этом министр здравоохранения РФ М. А. Мурашко отмечает снижение смертности от ССЗ в России почти на 34% за последние 25 лет [5].

Таким образом, цель работы достигнута в ходе сравнительного анализа трех алгоритмов машинного обучения и оценки их интерпретируемости. Результаты свидетельствуют о том, что логистическая регрессия превзошла ансамблевые модели на рассмотренной выборке, при этом эффективность каждого алгоритма определяется характеристиками конкретного набора данных. Вопросы интерпретируемости моделей, качества клинических данных и выбора оптимального алгоритма остаются открытыми и требуют дальнейшего исследования для полноценного внедрения машинного обучения в кардиологическую практику.

Список используемых источников

1. Чашин М. Г., Юрин А. В., Стрелкова А. В., Горшков А. Ю., Драпкина О. М. Проблемы и решения в применении алгоритмов машинного обучения для анализа данных в кардиологии. Профилактическая медицина. 2025;28(10):16-22.
2. Темирбаева А. Б., Алтыбай А. Методы машинного обучения для прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний: сравнительный анализ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2025. Т. 26. №2. С. 168–180. DOI: 10.22363/2312-8143-2025-26-2-168-180.
3. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM, 2016. PP. 785–794. DOI: 10.1145/2939672.2939785.
4. Rezk N. G., Alshathri S., Sayed A., El-Din Hemdan E., El-Beheri H. XAI-Augmented Voting Ensemble Models for Heart Disease Prediction: A SHAP and LIME-Based Approach // Bioengineering. 2024. Vol. 11. Iss. 10. P. 1016. DOI: 10.3390/bioengineering11101016
5. В РФ смертность от сердечно-сосудистых заболеваний за 25 лет снизилась на 34% // ТАСС. 2025. URL: <https://tass.ru/obschestvo/25161825> (дата обращения: 31.03.2026).

Статья представлена кандидатом технических наук, и.о. заведующего кафедрой СОД СПбГУТ, доцентом Ю. М. Бородянским.

УДК 004.42

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИСТОРИИ НА ОСНОВЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ КОНТУРНЫХ КАРТ С СЕРВЕРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Г. С. Ворожцов (студент группы ИБ-31вп СПбГУТ), vorozhtsov.gs@sut.ru

Контурные карты являются одним из базовых инструментов при изучении истории, поскольку позволяют соотнести события с пространством и сформировать устойчивые представления о развитии исторических процессов. Бумажный формат таких заданий ограничивает возможности преподавателя: назначение работ, контроль сроков, проверка, обратная связь и учет оценок выполняются разрозненно и зависят от очного контакта. В статье представлена цифровая платформа, объединяющая редактор интерактивных контурных карт, серверную систему управления заданиями и встроенный чат между преподавателем и студентом. Описаны архитектура решения, ролевая модель доступа, двухслойная организация холста, тайловая система отмены действий и средства защиты при работе с пользовательскими файлами. Показано, что предложенный подход позволяет централизовать учебный процесс, сохранить возможность многократной доработки карты и обеспечить дистанционную проверку с прозрачной историей взаимодействия.

контурные карты, цифровая платформа, изучение истории, графический редактор, серверное управление, встроенный чат, учебные задания

DIGITAL PLATFORM FOR STUDYING HISTORY BASED ON INTERACTIVE OUTLINE MAPS WITH SERVER-SIDE MANAGEMENT AND EMBEDDED CHAT

Vorozhtsov G.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

Outline maps remain an important didactic tool for studying history because they connect historical events with geographical space. Paper-based assignments make it difficult to distribute tasks, control deadlines, review work remotely and provide timely feedback. The paper presents a digital platform that combines an interactive outline map editor, a server-side assignment management subsystem and an embedded chat between a teacher and a student. The architecture, role-based access model, layered canvas, tile-based undo mechanism and file validation approach are described. The proposed solution centralizes the learning workflow, supports iterative correction of maps and enables remote assessment with a transparent communication history.

Key words: outline maps, digital platform, history education, graphical editor, server-side management, embedded chat, assignments

Контурная карта занимает особое место среди средств обучения истории. Она переводит описание событий в пространственную модель и помогает студенту увидеть взаимосвязь территорий, маршрутов, границ и центров влияния. В исследованиях по методике преподавания истории подчеркивается значение наглядных и интерактивных средств для формирования устойчивых исторических представлений и самостоятельной работы обучающихся [1, с. 74; 2, с. 69]. При этом контурная карта остается не только средством закрепления материала, но и инструментом контроля: по качеству нанесения объектов преподаватель оценивает понимание студентом исторического контекста.

При использовании бумажных контурных карт учебный процесс фрагментируется. Преподаватель отдельно сообщает группе тему, срок сдачи и критерии проверки, затем собирает работы только на занятии и вручную фиксирует результаты. Студент не получает оперативной обратной связи, а любая ошибка на бумажной карте часто приводит к необходимости выполнять задание заново. Системы управления обучением частично решают задачу выдачи текстовых материалов, но не предоставляют специализированного редактора для исторической картографии и не связывают карту, комментарий, оценку и историю доработок в единый процесс.

Ранее автором был разработан настольный «Конструктор контурных карт по истории» [3]. Он позволил перенести рисование на цифровой холст, однако не включал серверную составляющую: задания не назначались централизованно, проверка не выполнялась удаленно, а результаты не попадали в электронный журнал. Цель настоящей работы состоит в создании цифровой платформы, которая объединяет графический редактор, серверное управление заданиями и коммуникацию участников образовательного процесса.

Архитектура платформы

Решение построено как связка трех компонентов. Первый компонент – настольное приложение на Rust с библиотекой `egui`, выполняющее роль графического редактора контурных карт. Второй компонент – серверная часть на Rust (`Axum`) и `PostgreSQL`, отвечающая за пользователей, карты, группы, задания, работы, оценки, уведомления и чат. Третий компонент – веб-интерфейс на `React` и `TypeScript`, через который преподаватель управляет учебным процессом, а студент отслеживает свои задания и результаты.

В системе выделены три роли. Администратор управляет картами, пользователями и семестрами; преподаватель создает задания, формирует группы, проверяет работы и выставляет оценки; студент получает назначенные задания, рисует карты и отправляет их на проверку. Типовой цикл начинается с создания шаблона задания: преподаватель выбирает контурную карту, задает описание, максимальный балл и срок сдачи. После выполнения студент отправляет готовую карту, преподаватель принимает работу либо возвращает ее на доработку с комментарием, а итоговые баллы автоматически фиксируются в журнале.

Графический редактор

Редактор реализует двухслойную модель композиции изображения. Базовый слой содержит неизменяемый шаблон исторической карты, а прозрачный оверлейный слой хранит все действия студента. Итоговое изображение формируется наложением слоев, поэтому исходный шаблон не повреждается и может использоваться многократно. Для ускорения перерисовки применяется механизм «грязного прямоугольника»: после изменения фиксируется минимальная область холста, которую необходимо обновить на экране.

Набор инструментов адаптирован под исторические задания. Кисть используется для свободного нанесения объектов, линии и стрелки – для походов, миграций и торговых путей, фигуры и условные обозначения – для сражений, городов и укреплений, текстовый инструмент – для дат и названий. Для линий реализованы сглаживание краев, пунктирные и штрихпунктирные стили, разные типы стрелок и продолжение маршрута. Такая функциональность приближает цифровую карту к традиционной контурной карте, но сохраняет преимущества редактирования.

Отмена действий построена на тайловой модели. Холст делится на области размером 256 на 256 пикселей, и при рисовании сохраняются только измененные области до и после операции. Это экономит память при работе с картами высокого разрешения: вместо полного снимка изображения фиксируется небольшой набор затронутых фрагментов. В результате студент может многократно исправлять карту, а преподаватель получает работу, в которой правки не снижают визуального качества результата.

Серверное управление и чат

Серверная часть предоставляет набор маршрутов для аутентификации, управления заданиями, загрузки файлов, проверки работ, выставления оценок, ведения календаря и формирования отчетов. Файлы карт, выполненные работы и вложения сообщений хранятся в объектном хранилище, а структурированные данные – в реляционной базе. Коммуникация по заданию реализована через гибридную схему: история сообщений доступна через REST API, а доставка новых сообщений выполняется в реальном времени по протоколу WebSocket [4].

Встроенный чат связан не с общей перепиской, а с конкретным заданием. Он содержит ручные сообщения и служебные уведомления о назначении работы, отправке на проверку, выставлении оценки, возврате на доработку и продлении срока. Такой подход формирует единую хронологию: преподаватель видит карту, комментарии и статус проверки в одном контексте, а студент понимает, какие действия требуются для успешной сдачи.

Безопасность

При разработке учтены базовые рекомендации по снижению рисков веб-приложений [5]. Аутентификация выполняется с использованием токенов доступа и обновления, запросы к чувствительным маршрутам проходят проверку роли, а загрузка файлов ограничивается допустимыми расширениями, размером и сигнатурами форматов. Дополнительно применяются ограничение частоты запросов, защита от обхода путей при сохранении файлов, безопасные заголовки и очистка пользовательского текстового контента перед отображением.

Результаты

Разработанная платформа закрывает ключевые недостатки бумажной модели. Преподаватель получает централизованное назначение заданий, дистанционную проверку, журнал оценок и отчетность; студент получает единый канал доступа к карте, инструкции, срокам, замечаниям и результату. Предварительная апробация учебного сценария показала, что вынесение карты, проверки и обратной связи в одну цифровую среду снижает количество ручных операций и делает процесс доработки более удобным.

Дальнейшее развитие платформы связано с расширением библиотеки исторических шаблонов, поддержкой совместного редактирования карт

в реальном времени, интеграцией с институциональными системами управления обучением и добавлением автоматизированной проверки типовых заданий. Таким образом, предложенное решение может рассматриваться как специализированный инструмент цифровизации практических занятий по истории, где важны не только выдача материалов, но и работа с пространственным представлением исторического процесса.

Список используемых источников

1. Суслов А. Ю., Салимгареев М. В., Хамматов Ш. С. Инновационные методы преподавания истории в современном вузе // Образование и наука. 2017. Т. 19. № 9. С. 70–85. DOI: 10.17853/1994-5639-2017-9-70-85.
2. Замула Н. А., Сажина Н. М. Интерактивное обучение как совокупность инновационных методов преподавания истории в условиях цифровизации высшей школы // Вектор гуманитарной мысли. 2023. № 3. С. 67–75.
3. Ворожцов Г. С. Конструктор контурных карт по истории // XXVI Международный Балтийский коммуникационный форум: материалы студенческой научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 6–7 декабря 2024 г.). Ч. 2. СПб.: СПбГУТ, 2024. С. 604–606.
4. Fette I., Melnikov A. The WebSocket Protocol // RFC 6455, Internet Engineering Task Force. 2011. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6455> (дата обращения: 10.03.2026).
5. OWASP Foundation. OWASP Top Ten Web Application Security Risks – 2021. URL: <https://owasp.org/Top10/2021/> (дата обращения: 10.03.2026).

Статья представлена научным руководителем, доктором исторических наук, профессором кафедры Истории и регионоведения СПбГУТ И. И. Вороновым.

УДК 004.658.5:792

МОДУЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТЕАТРА С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ТВОРЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Ю. Д. Воскресенская (студент группы МТД-2521, СПбГУТ),
voskresenskaya.ud@sut.ru

Е. В. Гунина (к.п.н., доцент, доцент кафедры ИКД, СПбГУТ)

В статье обосновывается выбор модульной архитектуры для информационной системы, автоматизирующей внутренние коммуникации театра. Проводится сравнительный анализ основных архитектурных подходов (монолитный, микросервисный, модульный и др.) и доказывается преимущество модульного для театральной сферы с учетом ее специфики и гетерогенности целевой аудитории. На примере разработки системы для Санкт-Петербургского государственного академического театра им. Ленсовета описываются функциональные модули, физическая модель базы данных и уровни доступа. Делается вывод о применимости предложенного подхода для учреждений культуры со сходной организационной структурой.

информационная система, модульная архитектура, театр, внутренние коммуникации, творческая организация

MODULAR ARCHITECTURE OF AN INFORMATION SYSTEM FOR A THEATER, TAILORED TO THE SPECIFICS OF A CREATIVE ORGANIZATION

Voskresenskaya Yu., Gunina E.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article substantiates the choice of a modular architecture for an information system that automates the theater's internal communications. A comparative analysis of the main architectural approaches (monolithic, microservice, modular, etc.) is carried out and the advantage of modular for the theatrical sphere is proved, taking into account its specifics and heterogeneity of the target audience. Using the example of developing a system for the St. Petersburg State Academic Theater named after The Lensovet describes functional modules, the physical database model, and access levels. It is concluded that the proposed approach is applicable to cultural institutions with a similar organizational structure.

Key words: information system, modular architecture, theater, internal communications, creative organization

Современный театр – это не только место искусства и творчества, но и организация, имеющая сложную структуру. Коммуникация в театральной

сфере происходит не только между театром и зрителем, но и внутри театра, между сотрудниками: артистами, заведующими, работниками цехов, руководства.

В настоящее время очень налажена работа театров с информационными системами в рамках коммуникации «Театр-Зритель», есть множество онлайн-платформ, на которых зрители могут посмотреть репертуар, афишу, состав артистов на конкретный спектакль, а также совершить онлайн-покупку билетов. В то время как сотрудники театра для взаимодействия между собой и внутренней работы используют лишь малый потенциал цифровизации: обмениваются информацией через соцсети, переносят информацию с бумажных носителей в электронный вариант.

Ключевой проблемой ручного управления является возможность возникновения конфликта расписаний, возникающий из-за наложения репетиций, спектаклей и задействованных сотрудников. Отсутствие автоматизированной проверки занятости артистов, цехов и помещений приводит к ошибкам и накладкам. Проблемы могут возникать и в связи низкой оперативности коммуникации между подразделениями. Устное информирование или использование разрозненных каналов связи (мессенджеры, электронная почта) повышают риск искажения информации.

Таким образом, разработка специализированной информационной системы (ИС) для внутренней работы театра становится актуальной задачей. Целью данной работы является обоснование выбора модульной архитектуры для информационной системы, автоматизирующей внутренние коммуникации театра, и описание ее реализации на примере разработки для Санкт-Петербургского государственного академического театра им. Ленсовета.

Для обоснования выбора оптимальной архитектуры информационной системы, предназначенной для автоматизации внутренних коммуникаций театра, необходимо рассмотреть основные подходы, сложившиеся в современной практике проектирования ИС, и оценить их применимость в контексте театральной деятельности.

Монолитная архитектура предполагает концентрацию всех компонентов системы в единой кодовой базе. Основными преимуществами данного подхода являются простота начальной разработки и развертывания, а также минимальные инфраструктурные затраты. Однако монолитная архитектура обладает существенными недостатками: сложность масштабирования, по-

скольку при необходимости расширения функционала требуется масштабировать систему целиком, а также высокая чувствительность к сбоям, когда одна ошибка в модуле может нарушить работу всей системы. Для театральной ИС монолитный подход может быть оправдан только в случае крайне ограниченного функционала, однако потребность в гибкости делает его не оптимальным выбором.

Микросервисная архитектура представляет собой эволюционное развитие сервис-ориентированного подхода и характеризуется декомпозицией системы на множество независимых сервисов, каждый из которых обладает собственной базой данных и автономным жизненным циклом. Несмотря на высокую гибкость и возможность независимого масштабирования сервисов, микросервисная архитектура вносит значительную сложность в разработку и сопровождение. Для театральной ИС ее использование нецелесообразно, поскольку масштабы театральной деятельности не требуют распределенной обработки данных – число пользователей невелико, а объемы информации незначительны.

Сервис-ориентированная архитектура представляет функциональность в виде независимых сервисов, которые взаимодействуют через стандартизированные протоколы. Для театральной ИС, особенно для реализации простых подсистем вроде учета рабочего времени, такой подход может оказаться избыточным и усложнить поддержку системы из-за интеграции разнородных компонентов.

Архитектура, ориентированная на предметную область (Domain-Driven Design), фокусируется на том, чтобы структура системы непосредственно отражала бизнес-процессы предметной области. Ключевым понятием здесь является ограниченный контекст – логическая граница, внутри которой действует согласованная модель. Данный подход позволяет создать гибкую и выразительную модель, однако требует глубоких знаний предметной области и значительных временных затрат на начальном этапе. Для театральной ИС он может быть эффективен при реализации сложных подсистем, например, планирования репетиционного процесса, но избыточен для более простых задач.

Бессерверная архитектура предполагает полное делегирование управления инфраструктурой облачному провайдеру. При этом разработчик сосредотачивается исключительно на бизнес-логике в виде отдельных функций. Основной особенностью является событийно-ориентированная модель

и автоматическое масштабирование ресурсов. Для театральной ИС бессерверный подход может быть эффективен для обработки нечасто используемых функций, например, массовой рассылки уведомлений, однако для задач, требующих постоянного состояния или сложных взаимодействий между компонентами, он малопригоден.

Модульная архитектура основана на декомпозиции системы на функциональные компоненты, каждый из которых отвечает за определенную бизнес-функцию и может разрабатываться, тестироваться и масштабироваться независимо. К достоинствам этого подхода относятся возможность повторного использования компонентов, упрощение разработки за счет параллельной работы над отдельными модулями, а также возможность постепенной доработки системы. Недостатком является необходимость тщательного проектирования интерфейсов между модулями, что может привести к увеличению накладных расходов на интеграцию.

Проведенный анализ позволяет заключить, что для информационной системы, ориентированной на внутреннюю коммуникацию сотрудников театра, наиболее оптимальным решением является именно модульная архитектура. Данная модель обеспечивает необходимый баланс между структурной четкостью, гибкостью и экономической целесообразностью, соответствующий специфике театральной деятельности. Модульная организация системы позволяет логически разделить функциональные компоненты в соответствии с реальными процессами театра (работа с расписанием, управление заявками, уведомления, административные функции), сохраняя при этом простоту интеграции и сопровождения. Кроме того, благодаря модульному подходу в будущем не возникнет значительных проблем с масштабированием системы.

Кроме того, стоит учитывать специфику организации, для которой разрабатывается ИС. Разрабатываемая информационная система должна учитывать гетерогенность целевой аудитории. Различные категории пользователей: заведующий труппой, артисты, заведующие цехами, работники цехов и администратор – предъявляют разные требования к функционалу платформы. Заведующему труппой необходима возможность составления репертуара с учетом занятости артистов и площадок, тогда как артистам достаточно доступа к личному расписанию и уведомлениям.

Исходя из этого, система была разделена на следующие функциональные модули: модуль управления расписанием (создание и редактирование

событий, автоматический контроль конфликтов), модуль управления заявками (подача и рассмотрение заявок на отсутствие), модуль уведомлений (информирование об изменениях с функцией подтверждения ознакомления) и административный модуль (управление кадрами и спектаклями). Такое разделение позволяет разрабатывать, тестировать и масштабировать каждый модуль независимо, что соответствует принципам модульной архитектуры.

Для визуализации взаимодействия пользователей с системой были построены диаграмма прецедентов, представленная на рисунке 1. Диаграмма прецедентов отображает основные функции для каждого типа пользователей и связи между ними.

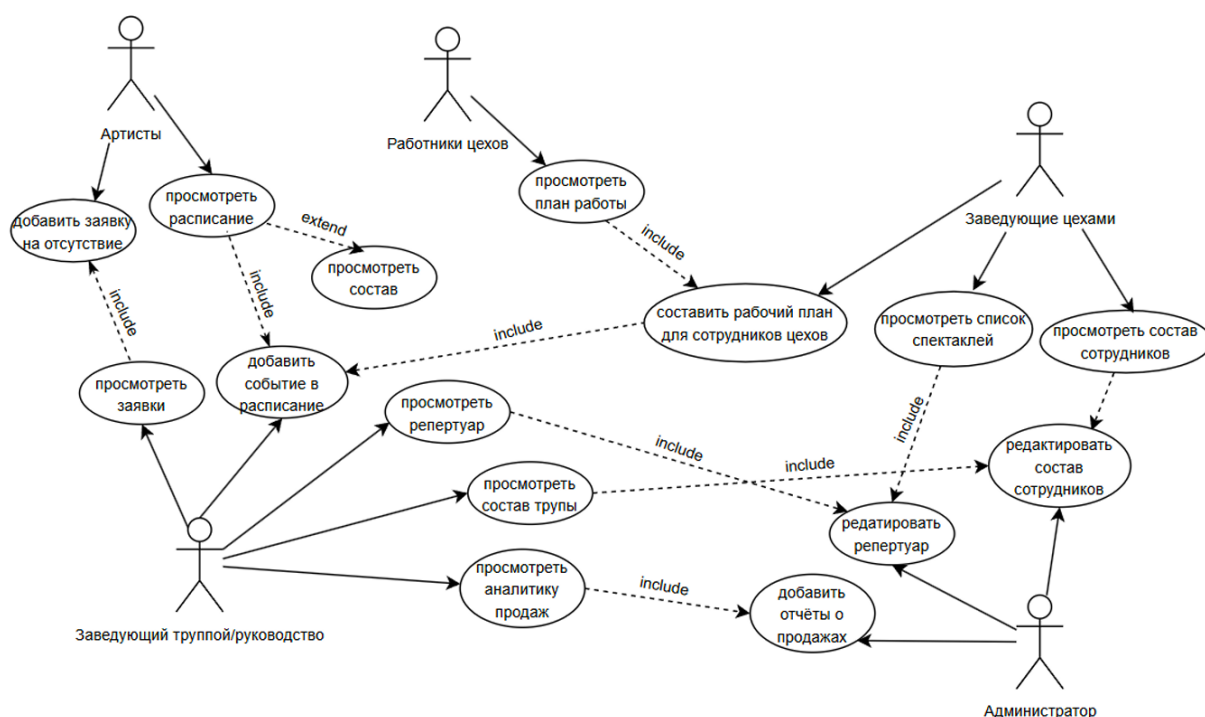


Рис. 1. Диаграмма прецедентов

При моделировании ИС также важно помнить про различные уровни доступа для пользователей системы, поскольку они занимают разные должности и для работы им необходим отличный друг от друга функционал. Модульная архитектура позволила реализовать различные уровни доступа для разных категорий пользователей. Заведующий труппой имеет доступ к модулям составления расписания и рассмотрения заявок. Артистам доступны только модули просмотра расписания, подачи заявок и получения уведомлений. Заведующие цехами на основе общего расписания распределяют сотрудников по задачам. Администратор обладает правами на управление кадрами и спектаклями, а также на загрузку аналитических отчетов.

Кроме того, для разных категорий пользователей предусмотрены разные платформы./Desktopная версия, предоставляющая полный функционал модулей, ориентирована на заведующего труппой и администратора, которым для эффективной работы необходимо просматривать большие объемы информации. Мобильная версия, обеспечивающая оперативный доступ к ключевым функциям (просмотр расписания, уведомления, подача заявок), по большей части предназначена для артистов и работников цехов, которым важно получать актуальную информацию своевременно.

Подводя итог вышесказанному, можно отметить, что модульная архитектура является оптимальным выбором для информационных систем, предназначенных для автоматизации внутренних коммуникаций в театральной сфере. Этот вывод основывается на нескольких ключевых факторах.

Во-первых, модульная архитектура позволяет логически разделить систему на компоненты, соответствующие реальной организационной структуре театра, поскольку театр состоит из функционально обособленных, но взаимосвязанных подразделений: труппа, производственные цеха (костюмерный, звукотехнический, осветительный), администрация и художественное руководство. Модульный подход дает возможность создать отдельные модули для каждого направления работы. Во-вторых, модульная архитектура обеспечивает необходимую гибкость. Театральная деятельность по своей природе динамична: репертуар ежемесячно изменяется, составы спектаклей корректируются, возникают незапланированные ситуации, требующие оперативного реагирования. Модульная структура позволяет вносить изменения в отдельные компоненты системы без необходимости переписывать или перекомпилировать всю систему целиком, что существенно снижает временные и трудовые затраты на сопровождение. В-третьих, модульная организация позволила реализовать различные клиентские платформы (desktopную и мобильную) с разным набором функциональных модулей, предоставляя каждому пользователю ровно тот инструментарий, который необходим для выполнения его рабочих задач. В-четвертых, модульная архитектура обеспечивает перспективы масштабирования. В отличие от монолитного подхода, где добавление нового функционала требует изменений во всей кодовой базе, модульная структура позволяет подключать новые компоненты по мере возникновения потребностей.

Дальнейшее развитие системы может включать интеграцию с мессенджерами, добавление модулей для заведующих цехами (учет материальных ресурсов) и другие расширения.

Таким образом, предложенное архитектурное решение демонстрирует свою эффективность для театральной сферы и может быть рекомендовано к использованию в других учреждениях культуры со сходной организационной структурой.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенное архитектурное решение может быть использовано при создании аналогичных информационных систем для других театральных учреждений. Разработанная физическая модель базы данных и модульная структура представляют собой готовую основу для последующей программной реализации. Ключевым фактором успешного развития остаются реальные потребности пользователей, которые будут выявлены в процессе эксплуатации системы.

Список используемых источников

1. Волков А. Н. Динамические туманные вычисления и бессерверная архитектура: на пути к зеленым ИКТ / А. Н. Волков // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10, № 3. С. 24-34. DOI 10.31854/1813-324X 2024-10-3-24-34.
2. Гудков М. С. Анализ архитектур информационных систем: монолитная и микросервисная / М. С. Гудков // Вестник науки. 2021. Т. 2, № 1(34). С. 48-51.
3. Топалов Н. К. Сравнительный анализ монолитной и микросервисной архитектуры: выбор оптимальной стратегии для программных систем / Н. К. Топалов // Молодой ученый. 2024. № 48(547). С. 12-15.
4. Дворецкий А. А. Проектирование модульной информационно-творческой системы для поддержки и развития наставничества в проектной деятельности молодежи (на примере ИТС «ПрофиЛинк») / А. А. Дворецкий // Молодой ученый. 2025. № 20 (571). С. 19-22.
5. Копылов, Д. И. Предметно - ориентированный подход в разработке информационных систем / Д. И. Копылов // Академическая наука - проблемы и достижения: Материалы XXIX международной научно-практической конференции, Bengaluru, India, 30–31 мая 2022 года. – Bengaluru, India: Pothi.com, 2022. С. 108-113.

УДК 004.738.5

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ВЕБ-ПЛАТФОРМ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РЕПЕТИТОРСКИХ УСЛУГ

О. В. Горлова (студент группы ИСТ-221, СПбГУТ)

Е. В. Коровкина (ассистент каф. СОД, СПбГУТ), korovkina.ev@sut.ru

В статье проведен анализ существующих веб-платформ для организации репетиторских услуг с целью обоснования необходимости разработки собственной информационной системы. Рассмотрены функциональные возможности популярных образовательных платформ Meleto, CloudText и Finch.study. Анализ выполнен на основе набора критериев, отражающих требования к проведению онлайн-занятий, контролю знаний и управлению учебным процессом. Выявлены преимущества и недостатки каждого решения. Показано, что ни одна из рассмотренных платформ не обеспечивает комплексную реализацию всех требований, что подтверждает целесообразность разработки новой веб-платформы для репетиторских услуг.

веб-платформа, онлайн-образование, репетиторские услуги, дистанционное обучение, образовательные информационные системы

ANALYSIS OF EXISTING WEB PLATFORMS FOR ORGANIZING TUTORING SERVICES

Gorlova O., Korovkina E.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article analyzes existing web platforms for tutoring services to justify the need to develop a custom information system. The functionality of popular educational platforms Meleto, CloudText, and Finch.study is examined. The analysis is based on a set of criteria reflecting the requirements for conducting online classes, assessing knowledge, and managing the educational process. The advantages and disadvantages of each solution are identified. It is shown that none of the platforms considered provides comprehensive implementation of all requirements, confirming the feasibility of developing a new web platform for tutoring services.

Key words: web platform, online education, tutoring services, distance learning, educational information systems

Для обоснования необходимости разработки собственной веб-платформы для организации репетиторских услуг был проведен анализ трех существующих образовательных веб-платформ: Meleto, CloudText и Finch.study. Анализ осуществлялся на основе критериев, которые отражают ключевые требования к функциональности и возможностям системы [1, 2, 3]. А именно было уделено особое внимание таким критериям, как:

- встроенная видеосвязь;

- интерактивная онлайн доска;
- возможность сдачи домашнего задания с помощью прикрепления учеником фотографии для проверки учителем;
- поддержка обычных тестов с выбором ответа (негеймифицированных);
- поддержка геймифицированных тестов;
- автоматизация проверки знаний и подсчета результатов;
- индивидуальные и групповые занятия;
- библиотека учебных материалов;
- запись и хранение онлайн занятий;
- возможность создания курсов с уроками (конструктор курсов);
- инструменты контроля оплат и финансовый учета;
- расписание занятий и система уведомлений;
- аналитика и мониторинг прогресса;
- разграничение прав доступа и защита данных;

Анализ веб-платформы Meleto

Meleto – это российская образовательная веб-платформа для проведения дистанционных занятий, ориентированная как на индивидуальных репетиторов, так и на небольшие онлайн-школы. Платформа позиционируется как комплексное решение, объединяющее инструменты для проведения онлайн-уроков, управления учебными материалами и организации коммерческой деятельности репетитора.

В рамках анализа было установлено, что платформа Meleto поддерживает следующие функциональные возможности:

- встроенную видеосвязь без необходимости использования сторонних сервисов;
- интерактивную онлайн-доску с возможностью рисования и вставки изображений;
- различные форматы домашних заданий, включая текстовые ответы, файлы и задания на доске;
- организацию индивидуальных и групповых занятий;
- библиотеку и хранилище учебных материалов;
- запись и хранение онлайн-занятий;
- создание курсов и отдельных уроков;
- инструменты контроля оплат, выставления стоимости занятий и учета финансов;
- расписание занятий и систему уведомлений;

- аналитику и мониторинг учебного прогресса учащихся.

Преимущества платформы Meleto: наличие встроенной видеосвязи и интерактивной доски, широкий функционал для организации учебного процесса, поддержка групповых занятий и работы с материалами, наличие инструментов финансового учета.

Недостатки платформы Meleto: отсутствие поддержки геймифицированных тестов, автоматизация проверки знаний реализована ограниченно и не охватывает все форматы заданий, ориентация платформы преимущественно на проведение занятий, а не на интерактивное обучение с элементами геймификации.

Анализ веб-платформы CloudText

CloudText – это образовательная веб-платформа, ориентированная преимущественно на репетиторов гуманитарных дисциплин и подготовку школьников к экзаменам (ЕГЭ и ОГЭ). Основной акцент в системе сделан на работе с письменными заданиями, тестами и критериями оценки.

Платформа CloudText предоставляет следующие функциональные возможности:

- создание курсов и уроков с теоретическими материалами и заданиями;
- поддержку домашних заданий в виде текста, фотографий и аудиофайлов;
- автоматический подсчет баллов по экзаменационным критериям;
- текстовые и голосовые комментарии к работам учеников;
- аналитику успеваемости и мониторинг прогресса;
- систему уведомлений для учеников и преподавателей;
- библиотеку учебных материалов;
- организацию групп и классов учащихся.

Преимущества платформы CloudText: развитые инструменты проверки письменных работ, автоматизация подсчета результатов, удобная система комментариев и обратной связи, детальная аналитика прогресса учеников.

Недостатки платформы CloudText: отсутствие встроенной видеосвязи, отсутствие интерактивной онлайн-доски, невозможность проведения онлайн-занятий непосредственно внутри платформы, отсутствие поддержки геймифицированных тестов.

Анализ веб-платформы Finch.study

Finch.study – это веб-платформа для независимых репетиторов, ориентированная на организацию учебного процесса и управление репетиторской деятельностью. Платформа объединяет инструменты для проведения занятий, планирования расписания и учета оплат.

В ходе анализа установлено, что Finch.study поддерживает следующие функции:

- встроенную видеосвязь для индивидуальных и групповых занятий;
- интерактивную онлайн-доску;
- расписание занятий и систему напоминаний;
- чат для общения и обмена материалами;
- хранение учебных материалов;
- учет оплат и анализ доходов;
- самозапись учеников на занятия.

Преимущества платформы Finch.study: удобные инструменты планирования занятий, встроенная видеосвязь и интерактивная доска, наличие финансового учета и статистики доходов, простота использования для индивидуальных репетиторов.

Недостатки платформы Finch.study: отсутствие поддержки создания полноценных курсов с уроками, отсутствие тестового конструктора и автоматизированной проверки знаний, отсутствие интерактивных и геймифицированных тестов, ограниченные возможности контроля учебного прогресса.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение аналогов разрабатываемой системы

Критерии оценки платформ	Meleto	CloudText	Finch.study
1. Встроенная видеосвязь	+	–	+
2. Интерактивная онлайн-доска	+	–	+
3. Возможность сдачи домашнего задания с помощью прикрепления учеником фотографии для проверки учителем	+	+	+
4. Поддержка обычных тестов с выбором ответа (негеймифицированных)	–	+	–
5. Поддержка геймифицированных тестов	–	–	–
6. Автоматизация проверки знаний и подсчета результатов	+/- (частично)	+	–
7. Индивидуальные и групповые занятия	+	+	+
8. Библиотека учебных материалов	+	+	+
9. Запись и хранение онлайн-занятий	+	–	+

Критерии оценки платформ	Meleto	CloudText	Finch.study
10. Возможность создания курсов с уроками (конструктор курсов)	+	+	–
11. Инструменты контроля оплат и финансовый учета	+	–	+
12. Расписание занятий и система уведомлений	+	+	+
13. Аналитика и мониторинг прогресса	+	+	+
14. Разграничение прав доступа и защита данных	+	+	+

Анализ существующих веб-платформ для репетиторов, представленный в таблице 1, показал, что каждое из рассмотренных решений реализует лишь часть критериев, которые необходимы для предоставления удобной среды в работе репетиторов. Платформа Meleto ориентирована преимущественно на проведение онлайн-занятий и управление учебным процессом, CloudText – на проверку заданий и аналитическую оценку знаний, а Finch.study – на организацию репетиторской деятельности и учет оплат.

При этом ни одна из проанализированных платформ не объединяет в рамках единой системы проведение онлайн-уроков, интерактивное обучение, автоматизированную проверку знаний и поддержку геймифицированных тестов. Отсутствие геймифицированных форм контроля знаний, способствующих повышению учебной мотивации школьников, является общим недостатком всех рассмотренных решений.

Таким образом, результаты сравнительного анализа подтверждают целесообразность разработки собственной веб-платформы для организации репетиторских услуг, ориентированной на комплексную реализацию всех выявленных критериев и устранение недостатков существующих аналогов.

Список используемых источников

1. Андреев А. А. Дистанционное обучение: сущность, технология, организация / А. А. Андреев, В. И. Солдаткин. Москва: Издательство МЭСИ, 1999. 196 с.
2. Роберт И. В. Теория и методика информатизации образования. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 320 с.
3. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования: учебное пособие для студентов валентных вузов и системы повышения квалификации педагогических кадров / Е. С. Полат, М. Ю. Бухаркина, М. В. Моисеева, А. Е. Петров; под редакцией Е. С. Полат. Москва: Академия, 2008. 272 с.

Статья представлена кандидатом технических наук, и.о. заведующего кафедрой СОД СПбГУТ, доцентом Ю. М. Боромянским.

УДК 004.514:629.7.05

ИНТЕРФЕЙС ОПЕРАТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РОЕВЫМИ СИСТЕМАМИ БПЛА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Д. Г. Горохов (студент группы МКТ-2511, СПбГУТ), gorohov.dg@sut.ru
Р. Я. Лабковская (к.т.н., доцент кафедры ИУС, СПбГУТ)

Рассматривается задача проектирования интерфейса оператора для управления роевыми системами беспилотных летательных аппаратов в реальном времени. Предложена концептуальная архитектура интерфейса, основанная на цикле принятия решений OODA и трехуровневой модели управления (макро-, мезо-, микроуровень). Сформулирован критерий адаптивного делегирования полномочий между оператором и автоматикой, а также определен набор метрик когнитивной нагрузки для дальнейшей экспериментальной валидации.

роевые системы БПЛА, интерфейс оператора, человеко-машинное взаимодействие, адаптивная автономия, акустический мониторинг

OPERATOR INTERFACE FOR REAL-TIME CONTROL OF UAV SWARM SYSTEMS

Gorokhov D., Labkovskaya R.
The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper addresses the task of designing an operator interface for real-time control of swarm systems of unmanned aerial vehicles. A conceptual interface architecture is proposed, based on the OODA decision-making cycle and a three-level control model (macro-, meso-, and micro-levels). A criterion for adaptive delegation of authority between the operator and the automation system is formulated, and a set of cognitive load metrics is defined for further experimental validation.

Key words: UAV swarm systems, operator interface, human-machine interaction, adaptive autonomy, acoustic monitoring

Развитие технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) сопровождается переходом от одиночных платформ к групповым и роевым конфигурациям, способным решать задачи мониторинга, поиска, спасения и обороны более эффективно за счет распределенной обработки данных и взаимного резервирования [1, 2]. Однако традиционная парадигма управления, при которой за каждый аппарат отвечает один оператор, оказывается несовместимой с роевой архитектурой: при росте численности агентов до

десятков единиц человек физически не способен поддерживать ситуационную осведомленность по каждому из них [3, 4].

Полностью автономное поведение роя пока также не может рассматриваться как универсальное решение: в условиях помех, неполноты данных и динамически изменяющейся обстановки требуется присутствие человека в контуре принятия критически важных решений [5]. Возникает задача проектирования специализированного интерфейса, который обеспечивает баланс между автономией роя и контролем со стороны оператора, минимизируя когнитивную нагрузку и сохраняя своевременность вмешательства.

Целью настоящей работы является разработка концептуальной архитектуры интерфейса оператора роевой системы БПЛА с элементами акустического мониторинга на основе цикла принятия решений OODA. В качестве объекта исследования выступают роевые системы БПЛА, в качестве предмета – интерфейс оператора и модели взаимодействия «человек – рой».

Подходы к взаимодействию «человек – рой»

Современные исследования в области human-swarm interaction (HSI) сходятся в том, что управление роем должно строиться по принципу супервизорного контроля, при котором оператор задает цели и ограничения, а исполнение делегируется роевой автоматике [1, 2]. В работе [1] предложен человеко-ориентированный фреймворк HSI, в котором цикл OODA Дж. Бойда используется как теоретическая модель деятельности оператора, а интерфейс рассматривается как средство ускорения каждой фазы цикла. Аналогичная логика применяется и в иерархических расширениях OODA для роевых систем, реализуемых на уровнях «облако – край – терминал» [2].

Метаанализ интерфейсов управления роем БПЛА [4] показывает, что повышение прозрачности автоматике и предоставление оператору доступа к промежуточным этапам обработки информации улучшают ситуационную осведомленность без увеличения умственной нагрузки в условиях, когда человек выполняет супервизорную роль. При этом ключевыми факторами, влияющими на нагрузку, остаются размер роя и степень его автономии [5].

Трехуровневая модель управления роем

Для уменьшения когнитивной нагрузки и обеспечения масштабируемости в работе предлагается трехуровневая модель управления, в которой интерфейс позволяет оператору переключаться между уровнями детализации (рис. 1).

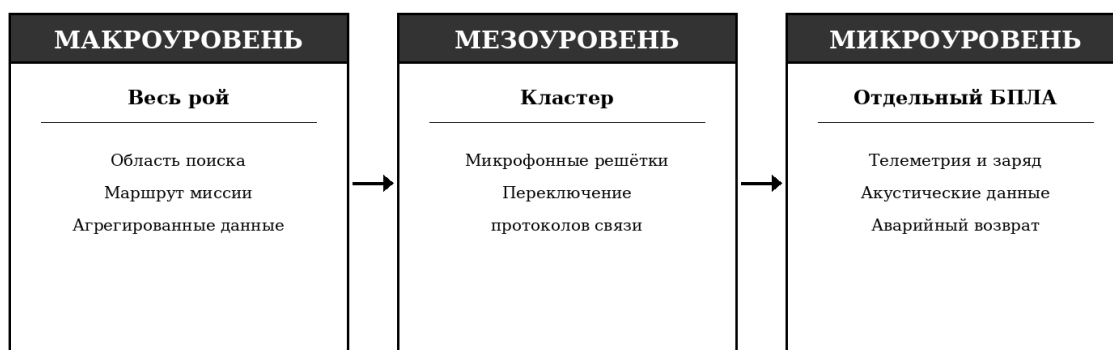


Рис. 1. Трехуровневая модель управления роевой системой БПЛА

На макроуровне оператор оперирует роем как единым целым: задает область поиска, маршрут и агрегированные параметры миссии. Мезоуровень соответствует управлению кластером (подгруппой) – например, распределению микрофонных решеток между несколькими БПЛА и переключению протоколов связи. Микроуровень обеспечивает доступ к параметрам отдельного аппарата: телеметрии, заряду, акустическим данным, а также аварийному возврату.

Такая декомпозиция соответствует принципу иерархической абстракции: на верхних уровнях оператор оперирует обобщенными показателями состояния роя, а к нижним уровням обращается лишь при возникновении аномалий, что согласуется с рекомендациями по снижению нагрузки в работах [4, 5].

Архитектура интерфейса на основе цикла OODA

Цикл OODA (Observe – Orient – Decide – Act), предложенный Дж. Бойдом, описывает деятельность лица, принимающего решение в условиях неопределенности и дефицита времени [1, 2]. Для управления роем БПЛА данная модель особенно удобна, поскольку каждой ее фазе можно поставить в соответствие определенный функциональный модуль интерфейса (табл. 1).

Каждый модуль реализуется как самостоятельный элемент с четко определенными входами и выходами; обратная связь от модуля Act к модулю Observe замыкает цикл и позволяет оператору непрерывно уточнять модель ситуации. Такая модульная организация согласуется с подходом, при котором интерфейс рассматривается как средство ускорения цикла OODA оператора [1].

ТАБЛИЦА 1. Соответствие фаз цикла OODA модулям интерфейса

Фаза цикла OODA	Функциональный модуль интерфейса
Observe (Наблюдение)	Визуализация состояния роя: карта, телеметрия, акустические данные
Orient (Ориентирование)	Аналитика и рекомендации: тепловые карты, агрегированные показатели
Decide (Решение)	Командное управление: альтернативы действий, прогноз последствий
Act (Действие)	Обратная связь: подтверждение команд, оценка когнитивной нагрузки

Адаптивное делегирование полномочий

Принципиальным элементом предлагаемой архитектуры является механизм адаптивного делегирования, обеспечивающий переключение между двумя режимами взаимодействия [5]: on-the-loop («на контуре») – автоматика координирует рой, оператор наблюдает; in-the-loop («в контуре») – оператор активно вмешивается в управление при обнаружении аномалии.

Решение о переключении предлагается формализовать в виде агрегированного критерия:

$$D = w_1 \cdot C + w_2 \cdot (1 - L) + w_3 \cdot U, \quad (1)$$

где C – критичность ситуации, L – текущая когнитивная нагрузка оператора, U – неопределенность данных; w_1 , w_2 , w_3 – весовые коэффициенты, нормированные так, что их сумма равна единице. При превышении порогового значения D система автоматически передает инициативу оператору, при снижении – возвращает ее роевой автоматике. Логика, согласно которой при перегрузке человека уровень автономии роя должен повышаться, а при снижении внимания – наоборот, понижаться, согласуется с принципами адаптивной автономии [5].

Метрики когнитивной нагрузки

Для оценки величины L в составе предложенной архитектуры предусмотрено использование комбинации субъективных и косвенных объективных метрик. В качестве основной субъективной шкалы выбран опросник NASA-TLX [6], являющийся фактическим стандартом для оценки рабочей нагрузки оператора в системах человек – машина и охватывающий шесть субшкал: умственная, физическая и временная требовательность задачи, собственная производительность, прилагаемые усилия и фрустрация. Для русскоязычных испытуемых уместно использовать адаптированную версию опросника [7]. В качестве косвенных метрик в режиме реального времени рассматриваются время реакции на вторичную задачу, частота переключений между уровнями интерфейса и плотность пользовательских команд, а также возможна оценка нагрузки по видеопотоку с применением рекуррентных нейронных сетей [8].

Заключение

В работе предложена концептуальная архитектура интерфейса оператора роевой системы БПЛА, основанная на цикле принятия решений OODA и трехуровневой модели управления. Сформулирован критерий адаптивного делегирования полномочий между человеком и автоматикой, учитывающий критичность ситуации, текущую когнитивную нагрузку и неопределенность данных. Определен набор метрик когнитивной нагрузки, включающий опросник NASA-TLX и косвенные показатели поведения оператора.

Дальнейшая работа предполагает реализацию программного прототипа интерфейса, его интеграцию с симулятором акустических систем мониторинга и проведение экспериментов с операторами с целью валидации предложенных решений с использованием шкалы NASA-TLX.

Список используемых источников

1. Zihong Zhou, Pengjin Wei, Zhiyi Wang, Leyi Duan, Siyuan Hai, Zuhang Zhang, Yujie Sun, Fuyong Feng. Towards human-centered interaction with UAV swarms: Framework, system design, and user study // Design and Artificial Intelligence, 2025. Vol. 1. Iss. 3. P. 100029. ISSN 3050-7413, <https://doi.org/10.1016/j.daai.2025.100029>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S3050741325000291> (дата обращения: 27.04.2026).

2. Ziye Jia, Yao Wu, Qihui Wu, Lijun He, Qiuming Zhu, Fuhui Zhou, Zhu Han. Hierarchical Observe-Orient-Decide-Act enabled UAV swarms in uncertain environments: frameworks, potentials, and challenges // arXiv preprint arXiv:2603.09191. 2026. URL: <https://arxiv.org/abs/2603.09191> (дата обращения: 27.04.2026).
3. Hocraffer A., Nam C. S. A meta-analysis of human-system interfaces in unmanned aerial vehicle (UAV) swarm management // Applied Ergonomics. 2017. Vol. 58. P. 66–80.
4. Koritarov T. Enhancing UAV operations: integrating human factors and the OODA loop for improved decision-making // Norwegian Journal of development of the International Science. 2024. № 144. P. 140-143. URL: <https://zenodo.org/records/14169159> (дата обращения: 27.04.2026).
5. Characterization of indicators for adaptive human-swarm teaming / S. Hussein [et al.] // Frontiers in Robotics and AI. 2022. Vol. 9. Article 745958. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2022.745958> (дата обращения: 27.04.2026).
6. Hart S. G., Staveland L. E. Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research // Human Mental Workload / ed. by P. A. Hancock, N. Meshkati. Amsterdam: North-Holland, 1988. P. 139–183.
7. Рыбина Е. П. Адаптация опросника NASA-TLX в когнитивном домене на русскоязычной выборке / Е. П. Рыбина, А. Н. Ангельгардт, Т. А. Березнер [и др.] // Когнитивная наука в Москве: новые исследования: материалы конференции, Москва, 21–22 июня 2023 г. / под редакцией Е. В. Печенковой, М. В. Фаликман. Москва: Буки Веди: Московский институт психоанализа, 2023. С. 427–433.
8. Шишов Б. А. Оценка когнитивной загруженности оператора на основе видеоинформации с помощью рекуррентных нейронных сетей / Б. А. Шишов // Проблемы управления. 2018. № 2. С. 58–65.

УДК 004.93

АСПЕКТЫ РЕАЛИСТИЧНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ 3D-СКАНИРОВАНИИ

Е. К. Дыкин (студент группы МТД-2521, СПбГУТ), dykin.ek@sut.ru
Т. В. Мусаева (к.т.н., доцент, доцент кафедры ИКД, СПбГУТ)

3D-сканирование внедряется во многие сферы деятельности человека. Одной из востребованных технологий является технология структурированного света, которая позволяет получать фотореалистичные модели объектов. Однако результаты сканирования крайне чувствительны к ряду параметров: освещению, геометрии и текстурным свойствам объектов. В данной работе рассматриваются существенные вопросы: влияние свойств объектов на результат реалистичности при сканировании и 3D-визуализации; предотвращения и устранения возможных ошибок. В результате работы созданы методики повышения качества сканирования с учетом свойств объектов.

3D-сканирование, структурный свет, текстура

ASPECTS OF IMAGE REALISM IN 3D SCANNING

Dykin Y., Musaeva T.
 The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

3D scanning is being actively implemented into many areas of human activity. One of the most sought-after technologies is structured light scanning, which makes it possible to obtain photorealistic models of objects. However, scanning results are highly sensitive to a number of parameters, including lighting, geometry, and textural properties of the objects. This paper addresses key issues: the influence of object properties on the realism of scanning and 3D visualization, as well as the prevention and correction of potential errors. As a result of this work, methods have been developed to improve scanning quality based on object properties.

Key words: 3D scanning, structured light, texture

В настоящее время использование методов 3D-сканирования быстро распространяется на различные области, такие как индустрия развлечений, производство, медицина, архитектура, документирования, каталогизация и другие области. Существует множество технологий 3D-сканирования: технологии лазерного сканирования (такие как LIDAR), контактное 3D-сканирование и фотограмметрия, и технология структурированного света. Среди данных технологий можно выделить технологию структурированного света за счет высокой точности получаемых моделей. За счет высокой

точности данная технология часто используется в промышленности в задачах обратного проектирования и контроля качества.

Сканеры структурированного света представляют собой переносные системы 3D-визуализации малого радиуса действия. Они используют проецируемые изображения или световые шаблоны для измерения объекта [1, 2]. Данные технологии основаны на классических методах фотограмметрии. Процесс создания 3D-сканирования состоит из следующих этапов: сканер получает 3D-координаты точек на поверхности объекта с помощью принципа триангуляции (излучает свет на объект, затем отраженное изображение захватывается камерами и за счет искажений определяет поверхность объекта), после чего передает эту информацию программного обеспечению. Программное обеспечение преобразует эти данные в облако точек, соединяет их и создает модель. Общий случай процесса представлен на рисунке 1.

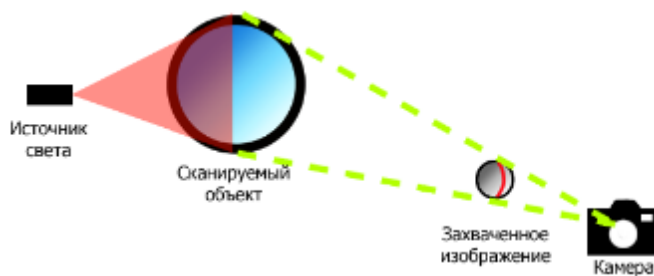


Рис. 1. Схематическое представление процесса фотограмметрии

На итоговый результат существенно влияют как условия съемки и аппаратные ограничения, так и материал, текстура и геометрические свойства объекта. Поэтому, для успешного сканирования важно понимание возможных проблем и принятие мер для их предотвращения. Перед началом сканирования необходимо определить ключевые аспекты, по которым будет оцениваться результат сканирования. Ниже представлены ключевые аспекты реалистичности изображения при 3D-сканировании:

- полученные сканы объектов обладают высокой геометрической точностью;
- полученные сканы объектов обладают высоким разрешением;
- полученные сканы объектов имеют фотореалистичные текстуры;
- осуществлен полный захват объекта;
- имеется высокая точность совмещения сканов объекта.

Для исследования влияния параметров объектов на результат были выбраны 9 объектов с различными геометрическими характеристиками и материалами. Также выполнено сканирование лица человека. Данный набор

позволит в полном объеме рассмотреть влияние свойств объекта на результаты.

В ходе исследования использовался ручной сканер Shinning 3D Einstar. 3D-сканер оснащен встроенными камерами: две из которых – это стереокамеры и третья – RGB-камера, благодаря которой устройство захватывает еще и цвет сканируемого объекта. Данный сканер является бюджетным и позволяет получать высокоточные модели (рисунок 2).



Рис. 2. 3D-модели, полученные с помощью сканера Shinning 3D Einstar

Частыми проблемами, с которыми сталкиваются при сканировании связаны со свойствами поверхности объектов: сканеры плохо обрабатывают прозрачные объекты или объекты с отражающей поверхностью. Из-за этого не получается получить 3D-модели объектов или же полученные модели будут обладать сломанной топологией (рисунок 3).



Рис. 3. Результаты работы сканера при реконструкции объектов с прозрачной или отражающей поверхностью: 3D модели искажены или же их невозможно создать

Одной из проблем при 3D сканировании также является проблема объектов без выраженной текстуры (рисунок 4). Это объясняется тем, что технология основывается на анализе искажений проецируемых узоров. Отсутствие же текстуры мешает камере сопоставить точки узора, что приводит к ошибкам отслеживания или пропуску данных.



Рис. 4. Результат сканирования монотонного объекта: не получилось создать полноценную модель, так как при сканировании задней части объекта или верха сканер терял трек

Противоположная проблема – это повторяющиеся текстуры: алгоритмы программного обеспечения при работе с достаточно сложной текстурой начинают путать точки, из-за чего могут возникать геометрические ошибки и искажения (рисунок 5).



Рис. 5. Результат сканирования объекта с повторяющейся структурой: поверхность созданного облака точек вышла очень волнообразной, а текстура 3D-модели смазалась

Необходимо учитывать аппаратные ограничения: при работе с объектами достаточной сложной топологией могут возникать проблемы сканирования [2, 3]. Так при сканировании человеческого лица происходит упрощение модели: складки и морщинки на лице теряются (рисунок 6). Следует отметить, что сканирование человека показывает ряд и других проблем. Человек не может стоять неподвижно, а даже небольшие движения приводят к искажениям. В дополнении, человек, как объект, представляет собой комбинацию из разных материалов (волосы, кожа, одежда) с разными свойствами поверхности и сложностью геометрии.



Рис. 6. Результат сканирования человеческого лица

Из полученных результатов видно, что при сканировании объектов на итоговый результат сильно влияют свойства самих объектов. Для предотвращения некоторых ошибок уже существуют определенные решения: специальные антибликовые спреи для прозрачных или отражающих поверхностей, использование специальных маркеров для объектов с повторяющейся или монотонной поверхностью.

Предотвращение же других проблем требует решений на аппаратном или программном уровне. Так, одним из способов решения является использование математической модели для подбора оптимальных конфигураций триангуляции [4]. При сканировании движущихся объектов (людей) можно использовать односнимковые технологии сканирования [5]. Использование гибридных решений (например, структурный свет и фотограмметрия) повышает качество сканов, а применение искусственного интеллекта обеспечивает непрерывность поверхности облака точек. Однако в некоторых исследованиях отмечалось, что результаты использования подобных методов варьируется [3].

При работе со сканером в учебных условиях необходимо осуществлять правильную настройку самого приложения (выбор типа сканируемого объекта, включение автоматического нахождения плоскости и др.), правильно подготавливать сам объект перед съемкой. Следует учитывать особенности используемой технологии и ее ограничений, которые могут возникнуть при работе с объектами с различными характеристиками: использовать антибликовые спреи и маркеры, учитывать размеры и формы объектов, и проводить калибровку сканера.

В заключение следует отметить, что на сегодняшний день изучение вопроса влияния свойств объектов на результаты 3D-сканирования является

актуальной из-за всеобщей цифровизации многих сфер деятельности человека. Исследование данного вопроса является перспективным.

Список используемых источников

1. Черткова Я. В., Катасонов Д. Н., Баталова К. В. Обзор средств трехмерной реконструкции // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 6. С. 293–298. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-6-293-298. EDN: GWHKVP.
2. Rachakonda P., Muralikrishnan B., Sawyer D. (2019) Sources of Errors in Structured Light 3D Scanners // Proceedings of SPIE. 2019. Vol. 10991. DOI: 10.1117/12.2518126.
3. Iakovaki E., Konstantakis M., Giaourtsakis I., Rentoumi E., Protopapas, D., et al. When Reality Meets Practice: Challenges and Pitfalls in 3D Digitization Using Structured Light Scanning and Photogrammetry in Cultural Heritage // Information (Switzerland). 2026. Vol. 17. Iss. 3. P. 237. DOI: 10.3390/info17030237. EDN: CWQQQU.
4. Степанов Д. Н. Математическое моделирование и исследование оптимальных конфигураций триангуляционной оптико-электронной системы при подсветке пространства предметов одной полосой // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2022. № 1 (138). С. 119–134. DOI: 10.18698/0236-3933-2022-1-119-134. EDN: MXKRGR.
5. Khan D., Shirazi M. A., Kim M. Y. Single shot laser speckle based 3D acquisition system for medical applications // Optics and Lasers in Engineering. 2018. Vol. 105. PP. 43–53. DOI: 10.1016/j.optlaseng.2018.01.001.

УДК 004.415.2

МЕТОД ГЛОБАЛЬНОГО СОПОСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕБ-СТРАНИЦЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫЯВЛЕНИЯ РЕГРЕССИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ИНТЕРФЕЙСА

А. Р. Коломиец (студент группы ИКПИ-33, СПбГУТ)

М. Е. Морозов (студент группы ИКПИ-33, СПбГУТ), morozov.me@sut.ru

А. В. Славин (студент группы ИКПИ-33, СПбГУТ)

Предложен метод глобального сопоставления элементов веб-страницы для обнаружения UI-регрессий на основе взвешенной многофакторной модели сходства и Венгерского алгоритма. Модель учитывает пять групп признаков: текст, HTML-атрибуты, структуру DOM, семантику тегов и геометрию. Оценка на 750 синтетических и 156 реальных сценариях показала точность 92% при накладных расходах менее 5%.

автоматизация тестирования, регрессия интерфейса, DOM-сопоставление, Венгерский алгоритм, многофакторный анализ, DBSCAN, обнаружение изменений

METHOD OF GLOBAL COMPARISON OF ELEMENTS WEB PAGES FOR AUTOMATED DETECTION REGRESSIONAL CHANGES IN THE INTERFACE

Kolomiets A., Morozov M., Slavin A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

A method for global comparison of web page elements is proposed to detect UI regressions based on a weighted multifactor similarity model and the Hungarian algorithm. The model takes into account five groups of features: text, HTML attributes, DOM structure, tag semantics and geometry. Evaluation on 750 synthetic and 156 real scenarios showed an accuracy of 92% with an overhead of less than 5%.

Key words: test automation, interface regression, DOM mapping, Hungarian algorithm, multivariate analysis, DBSCAN, change detection

1. Введение

Современные веб-приложения обновляются с высокой частотой: в крупных командах релизы происходят ежедневно, а изменения пользовательского интерфейса затрагивают десятки элементов одновременно. В этих условиях ручная проверка визуальной целостности интерфейса становится экономически неоправданной и ненадежной.

Существующие подходы к обнаружению UI-регрессий можно разделить на пять категорий. Попиксельное сравнение скриншотов [1] – наиболее простой метод, который, однако, чувствителен к различиям в рендеринге шрифтов, динамическому контенту и субпиксельному сглаживанию [2]. Методы сравнения DOM-деревьев [2] (tree edit distance) обеспечивают структурный анализ, однако имеют вычислительную сложность $O(n^3)$ и не учитывают визуальный контекст элементов. Локальный жадный поиск (greedy matching) сопоставляет ближайшие по признакам элементы, но неустойчив при перестановках: одно неверное сопоставление вызывает каскад ошибок. Подходы на основе CSS-селекторов хрупки при рефакторинге разметки, а ML-методы (CNN) требуют больших обучающих выборок и не обеспечивают интерпретируемость решений [3].

Ключевой недостаток перечисленных подходов – использование либо единственного фактора сходства, либо локальной стратегии сопоставления, неустойчивой к перестановкам элементов. В данной работе предложен метод глобального сопоставления, объединяющий несколько групп признаков и обеспечивающий математически оптимальное назначение элементов. Общая схема метода представлена на рис. 1 и рис. 2.

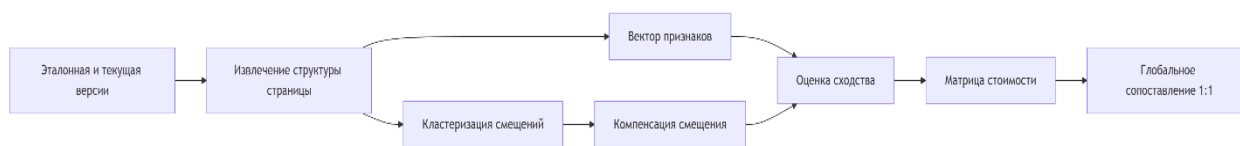


Рис. 1. Построение соответствий элементов

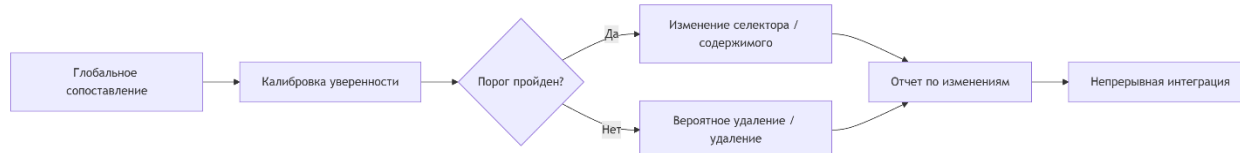


Рис. 2. Принятие решения и формирование отчета

2. Метод

Каждый интерактивный элемент DOM представляется вектором из пяти групп признаков: текстовое содержание, HTML-атрибуты, структура DOM, семантика тега и геометрия. Итоговая оценка сходства двух элементов вычисляется как взвешенная сумма по формуле (1):

$$S(e_i, e_j) = w_{text} \cdot f_{text} + w_{attr} \cdot f_{attr} + w_{str} \cdot f_{str} + w_{ta} \cdot f_{ta} + w_{size} \cdot f_{size}, \quad (1)$$

где f – функции сходства по каждой группе признаков, а w – весовые коэффициенты: $w(text) = 0,32$; $w(attr) = 0,32$; $w(struct) = 0,18$; $w(tag) = 0,12$; $w(size) = 0,06$, определенные экспериментально. Значения подобраны перебором на валидационной выборке из 120 пар страниц с известными соответствиями элементов (разметка вручную для реальных сценариев, синтетические мутации для контролируемых).

Длина строки определяет выбор метрики: свыше 20 символов – нормализованное расстояние Левенштейна, иначе – стандартное. Это снижает влияние нормализации при малом объеме текста. Отдельно выделены паттерны с датами, числами и валютами – им присваивается фиксированная оценка 0,85, чтобы избежать ложных срабатываний при обновлении данных.

Вес каждого атрибута определяется его устойчивостью к рефакторингу. Тестовые идентификаторы (data-testid, data-cy) – наиболее стабильны (0,20–0,25), id и name – промежуточный уровень (0,12–0,15), CSS-классы и ARIA – минимальный вклад (0,08–0,10).

Позиция элемента в DOM характеризуется четырьмя параметрами: тег родителя, глубина вложенности, индекс среди соседей и текст предшествующего узла. Семантическая близость тегов устанавливается по их функциональному назначению: BUTTON и A с role = "button" считаются эквивалентными (0,8), аналогично – INPUT/TEXTAREA и SPAN/DIV.

Геометрическое сходство определяется на основе координат ограничивающего прямоугольника (bounding box) и площади элемента относительно viewport. Для адаптивного дизайна установлена толерантность 20 %, позволяющая считать сходными элементы с незначительным смещением.

Ключевым отличием предложенного метода от существующих подходов является использование Венгерского алгоритма (Куна–Манкреса) [3] для глобально оптимального одно-к-одному сопоставления элементов эталонной и текущей версий страницы. На основе модели (1) строится матрица стоимости по формуле (2):

$$C[i, j] = 1 - S(e_i, e_j). \quad (2)$$

Венгерский алгоритм минимизирует суммарную стоимость назначений за время $O(n^3)$, где n – число элементов на странице.

Преимущества глобального подхода перед жадным поиском заключаются в устойчивости к перестановкам элементов (элементы, поменявшие порядок, корректно сопоставляются) и отсутствии каскадных ошибок.

Для подавления ложных срабатываний при сдвиге контейнерных элементов предложено применение алгоритма DBSCAN [4] для кластеризации смещений дочерних элементов с параметром $\epsilon_{ps} = 10$ пикселей. Если не менее 70 % дочерних элементов контейнера имеют одинаковое смещение (dx , dy), фиксируется сдвиг контейнера, а координаты дочерних элементов корректируются. Минимальный порог срабатывания установлен в 3 пикселя для подавления шума.

Для каждого типа элемента подбирается порог принятия решения, максимизирующий F1-меру на валидационном наборе данных. Пороги различаются в зависимости от семантической значимости: для BUTTON – 0,72; INPUT – 0,70; A – 0,68; DIV – 0,60; по умолчанию – 0,65. Результат сопоставления классифицируется по четырем типам: SELECTOR_CHANGE, CONTENT_CHANGE, POSSIBLY_REMOVED и REMOVED.

3. Экспериментальные данные

Оценка метода проведена на двух классах данных: синтетических мутациях DOM и реальных сценариях из четырех предметных областей (электронная коммерция, SaaS-панели, контент-сайты, формы авторизации). Синтетический набор данных сформирован программным способом на основе 15 эталонных веб-страниц, охватывающих типовые паттерны интерфейсов. Для каждой страницы сгенерировано 50 вариантов мутаций, включающих: текстовые изменения (замена, добавление, удаление текста), атрибутные изменения (модификация class, id, data-атрибутов), структурные изменения (перемещение, вложенность, изменение порядка элементов), геометрические изменения (смещение, изменение размеров) и комбинированные мутации (2–4 типа изменений одновременно). Общий объем синтетического набора – 750 пар страниц.

Дополнительно собран корпус из 156 пар страниц из публичных репозиторий GitHub (интернет-магазины, SaaS, медиапорталы, авторизация). Золотой стандарт создан вручную: в среднем 250 элементов на страницу. Перечень репозиторий доступен по запросу.

4. Результаты

Последовательное добавление факторов модели на тестовом наборе представлено в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Точность сопоставления элементов: предложенный метод против локального жадного поиска по текстовому сходству

Тип элемента	Базовый жадный алгоритм, %	Предложенный, %	Прирост
BUTTON	82	94	+12 %
INPUT	75	91	+16 %
A (link)	78	92	+14 %
H1–H6	85	93	+8 %
DIV	55	88	+33 %
SPAN	62	89	+27 %
LI	48	85	+37 %
IMG	70	90	+20 %

Наибольший прирост достигнут для контейнерных элементов (DIV +33 %, SPAN +27 %, LI +37 %), которые традиционно являются наиболее проблемной категорией для локального жадного поиска. Средний прирост точности составил 24 %, а средняя точность предложенного метода – 92 %. Сравнение точности сопоставления по типам элементов приведено в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Относительный вклад отдельных факторов в улучшение точности по отношению к базовому жадному алгоритму

Фактор	Вклад
Fuzzy text + N-gram	+28 %
Взвешенные атрибуты	+35 %
Fuzzy CSS-классы	+35 %
Многоуровневая структура	+27 %
DBSCAN-кластеризация контейнеров	+27 %
Толерантность размеров	+15 %
Семантика тегов	+8 %

Точность по категориям: простые элементы – 82 % → 92 %, сложные – 55 % → 88 %, динамический контент – 40 % → 87 %, перестановки DOM – 60 % → 90 %. Временные характеристики метода отражены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Временные характеристики метода

Операция	Время	Сложность
Сравнение пары элементов	~0,5 мс	$O(L)$ по тексту
N-gram similarity	~0,1 мс	$O(n + m)$
Levenshtein distance	~0,3 мс	$O(n \cdot m)$
DBSCAN-кластеризация	~2 мс	$O(k^2)$, $k < 100$
Страница (50 элементов)	~25 мс	$O(n^3)$ Венгер + извлечение признаков
10 страниц (полный скан)	~250 мс	—

Накладные расходы предложенного метода составляют менее 5% по сравнению с базовым жадным поиском, что обеспечивает пригодность для интеграции в CI/CD-пайплайны.

5. Заключение

Проведено экспериментальное исследование метода глобального сопоставления элементов веб-страницы на основе пяти групп признаков и Венгерского алгоритма. Оценка выполнена на синтетическом наборе из 750 пар страниц с программно сгенерированными мутациями и на 156 реальных сценариях из четырех предметных областей.

Получены следующие результаты. На синтетических данных (750 пар страниц, однократный прогон каждой пары) средняя точность сопоставления составила 92 % (против 68 % у базового жадного алгоритма), на реальных сценариях (156 пар страниц, однократный прогон) – 92 % (против 72 %). Указанные результаты носят предварительный характер и получены на ограниченной выборке; дальнейшая валидация на расширенном наборе данных (не менее 1000 реальных сценариев) позволит повысить статистическую значимость оценок. Взвешенные атрибуты и fuzzy CSS-классы дали наибольший вклад в повышение точности (+35 % при изолированном включении). Текстовое сравнение обеспечило +28 %, что особенно важно для элементов с динамическим контентом (даты, цены). DBSCAN-кластеризация смещений контейнеров (+27 %) устранила каскадные ложные срабатывания.

Накладные расходы метода не превышают 5 % по сравнению с базовым жадным поиском, что позволяет интегрировать его в CI/CD-пайплайны. Ограничением исследования является относительно небольшой

объем реальных сценариев (156 пар страниц); дальнейшая работа предполагает расширение набора тестовых данных и апробацию метода на промышленных проектах с непрерывной интеграцией.

Список используемых источников

1. Mahajan S. WebSee: A tool for debugging web applications using visual comparison / S. Mahajan, W. G. J. Halfond // 2015 IEEE International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST). IEEE, 2015. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICST.2015.7102638.
2. Leotta M. Visual vs. DOM-based web locators: An empirical study / M. Leotta, D. Clerissi, F. Ricca, P. Tonella // International Conference on Web Engineering (ICWE 2014). – Cham: Springer, 2014. P. 315–332. DOI: 10.1007/978-3-319-08245-5_19.
3. Kuhn H. W. The Hungarian method for the assignment problem // Naval Research Logistics Quarterly. 1955. Vol. 2. № 1–2. PP. 83–97.
4. Ester M., Kriegel H.-P., Sander J., Xu X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise // Proc. KDD'96. 1996. PP. 226–231.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры ПИиВТ СПбГУТ А. В. Помогаловой

УДК 004.8

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К ОБНАРУЖЕНИЮ МОШЕННИЧЕСТВА В ТРАНЗАКЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ И АНАЛИЗА АНОМАЛИЙ

С. А. Молодяков (д.т.н., доцент, профессор кафедры ВШПИ, СПбПУ)

А. С. Фокин (аспирант гр. 6020305/50013, СПбПУ), puncheglaz@gmail.com

В работе рассматривается задача обнаружения мошеннических операций в транзакционных данных в условиях необходимости их обработки в режиме реального времени.

Предлагается подход к интеллектуальному анализу транзакций, основанный на интеграции методов классификации и обнаружения аномалий. Каждая транзакция описывается набором признаков, включающих параметры операции и характеристики поведения пользователя. Для оценки риска используется взвешенная функция, а выявление нетипичных операций осуществляется с применением методов анализа отклонений.

Предложенное решение ориентировано на обработку потоковых данных и позволяет эффективно выявлять как известные, так и ранее не наблюдаемые схемы мошенничества при снижении уровня ложных срабатываний.

обнаружение мошенничества, транзакционные данные, интеллектуальный анализ данных, машинное обучение, потоковая обработка, выявление аномалий

A HYBRID APPROACH TO FRAUD DETECTION IN TRANSACTIONAL SYSTEMS BASED ON CLASSIFICATION AND ANOMALY ANALYSIS METHODS

Molodyakov S., Fokin A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper examines the problem of detecting fraudulent transactions in transaction data, requiring real-time processing.

An approach to intelligent transaction analysis based on the integration of classification and anomaly detection methods is proposed. Each transaction is described by a set of features, including transaction parameters and user behavior characteristics. A weighted function is used for risk assessment, and atypical transactions are identified using deviation analysis methods.

The proposed solution is focused on processing streaming data and enables the effective detection of both known and previously unobserved fraudulent patterns while reducing the rate of false positives.

Key words: fraud detection, transactional data, data mining, machine learning, stream processing, anomaly detection

Рост объемов безналичных платежей и развитие цифровых финансовых сервисов приводят к усложнению мошеннических схем и увеличению требований к системам их обнаружения. Современные платежные платформы функционируют в условиях высоких нагрузок и требуют оперативной обработки транзакций.

Традиционные методы, основанные на фиксированных правилах (rule-based systems) [1], демонстрируют ограниченную эффективность из-за низкой гибкости и неспособности адаптироваться к новым видам мошенничества. В связи с этим активно применяются методы машинного обучения, позволяющие выявлять скрытые закономерности в данных [2].

Несмотря на их преимущества, такие методы сталкиваются с рядом проблем, включая дисбаланс классов, необходимость интерпретации результатов и сложность применения в системах реального времени.

В этой связи актуальной задачей является разработка методов интеллектуальной обработки транзакционных данных, обеспечивающих высокую точность выявления мошеннических операций при сохранении требований к скорости обработки [3].

Современные решения для выявления мошеннических операций можно условно разделить на несколько категорий (таблица 1).

ТАБЛИЦА 1. Существующие подходы к выявлению мошеннических операций

Подход	Описание	Недостатки
Правило-ориентированные методы	Используют заранее заданные экспертные правила (например, превышение пороговых значений, аномальная география операций)	Ограниченная адаптивность; необходимость постоянного обновления; зависимость от экспертных знаний
Классические методы машинного обучения	Включают методы, такие как логистическая регрессия, деревья решений, случайный лес и градиентный бустинг	Требуют размеченных данных; чувствительны к дисбалансу классов; ограниченная способность моделирования сложных зависимостей
Методы обнаружения аномалий	Основаны на анализе отклонений от нормального поведения (например, Isolation Forest, LOF)	Высокая вероятность ложных срабатываний; трудности интерпретации результатов
Глубокое обучение	Применяются рекуррентные нейронные сети (RNN), LSTM, автоэнкодеры [4].	Высокие вычислительные затраты; необходимость больших выборок; сложность внедрения в реальном времени

Целью работы является разработка метода интеллектуального анализа транзакционных данных, обеспечивающего повышение эффективности выявления мошеннических операций в условиях высокой изменчивости данных и необходимости их оперативной обработки.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи**:

1. Провести анализ существующих методов обнаружения мошенничества и определить их ограничения;
2. Исследовать характеристики транзакционных данных, включая временные и поведенческие особенности;
3. Разработать способ формирования признакового описания транзакций;
4. Сформировать алгоритм интеллектуальной обработки транзакционных данных;
5. Реализовать предложенный алгоритм;
6. Оценить эффективность разработанного решения на практике.

Предлагаемый подход основывается на многоэтапной обработке данных, включающей предварительную подготовку, классификацию и анализ аномалий. Это позволяет объединить преимущества различных методов и повысить эффективность обнаружения мошенничества. На рис. 1 представлена общая структура предложенной модели решения.

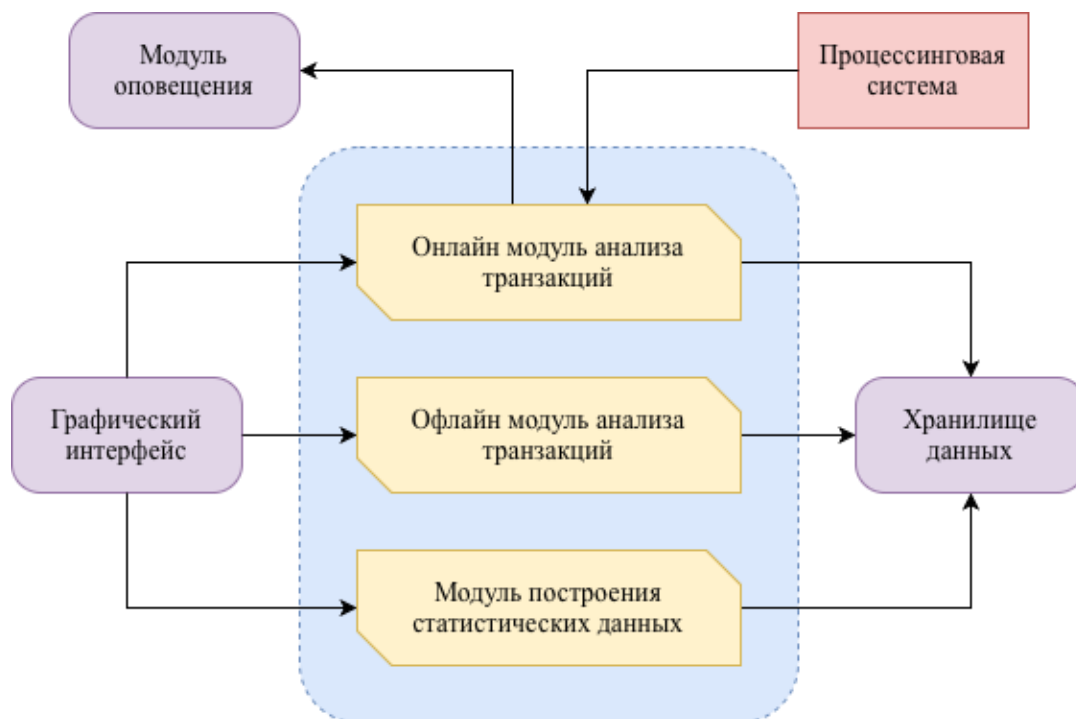


Рис. 1. Структура предложенной модели

Формально каждая транзакция описывается вектором признаков:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где x_i – отдельные характеристики транзакции (сумма операции, временные параметры, геолокация, поведенческие признаки пользователя и др.).

Оценка вероятности мошенничества осуществляется с использованием функции:

$$Z = \sum_{i=1}^n w_i x_i,$$

где w_i – веса признаков, определяющие их вклад в итоговую оценку риска Z .

Настройка параметров модели выполняется путем минимизации функции ошибки:

$$d = \sum_{i=1}^m (Z_i - X_i)^2,$$

что позволяет уменьшить расхождение между предсказанными и фактическими значениями.

Дополнительно применяется механизм обнаружения аномалий, основанный на оценке степени отклонения транзакции от типичного поведения:

$$s(x) = \frac{E(h(x))}{c(n)},$$

где $E(h(x))$ – ожидаемая глубина изоляции объекта,

$c(n)$ – нормирующий коэффициент.

Для повышения устойчивости модели используется мера энтропии распределения:

$$H(n) = - \sum p_i \log p_i,$$

позволяющая учитывать неопределенность и выявлять нетипичные паттерны поведения [5].

Обработка данных осуществляется в потоковом режиме: каждая транзакция анализируется непосредственно после поступления, вычисляется интегральная оценка риска, и при превышении заданного порога операция классифицируется как подозрительная.

В результате выполнения работы:

- разработан метод обнаружения мошеннических операций, обеспечивающий повышение точности классификации по сравнению с традиционными подходами;
- обеспечена возможность выявления ранее неизвестных мошеннических схем за счет интеграции методов анализа аномалий;
- сформирована модель, пригодная для применения в системах реального времени;
- проведена экспериментальная проверка эффективности предложенного решения.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанного метода в банковских системах, платежных сервисах и финтех-приложениях для повышения уровня защиты транзакций.

Список используемых источников

1. Bhuyan B. P., Ramdane-Cherif A., Singh T. P., Tomar R. Rule-based systems and expert systems // *Neuro-Symbolic Artificial Intelligence: Bridging Logic and Learning*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. PP. 63–85. DOI: 10.1007/978-981-97-8171-3_5.
2. Sarker I. H. Machine learning for intelligent data analysis and automation in cybersecurity: current and future prospects // *Annals of Data Science*. 2023. Vol. 10. Iss. 6. PP. 1473–1498. DOI: 10.1007/s40745-022-00444-2
3. Lin A. K. The AI revolution in financial services: emerging methods for fraud detection and prevention // *Jurnal Galaksi*. 2024. Vol. 1. Iss. 1. PP. 43–51.
4. Neloy A. A., Turgeon M. A comprehensive study of auto-encoders for anomaly detection: efficiency and trade-offs // *Machine Learning with Applications*. 2024. Vol. 17. Art. 100572. DOI: 10.1016/j.mlwa.2024.100572
5. Mazumder M. T. R., et al. Anomaly detection in financial transactions using convolutional neural networks // *Journal of Economics, Finance and Accounting Studies*. 2025. Vol. 7. Iss. 2. PP. 195–207.

УДК 338.45:629.78

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОРБИТАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В. Б. Молоковская (студент группы ИСТ-422, СПбГУТ),
molokovskaia.eb@sut.ru

Статья представляет расчеты стоимости вывода дата-центров на орбиту. Приводится сравнительный анализ капитальных и операционных затрат наземных и орбитальных ЦОДов. Учтено влияния на экологию. Рассмотрены прогнозы изменения цены доставки на орбиту к 2035-2040 годам.

центры обработки данных, космос, вычислительные мощности, оптимизация энергии, искусственный интеллект, CAPEX, OPEX, Nvidia NVL72 GB200, Falcon 9

MACROECONOMIC ANALYSIS OF THE COMPUTATIONAL INFRASTRUCTURE FOR ORBITAL DATA CENTERS

Molokovskaya V.
The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article presents calculations regarding the costs of deploying data centers into orbit. It provides a comparative analysis of the capital and operational expenditures (CAPEX and OPEX) for ground-based versus orbital data centers. Environmental impacts are taken into account, and projections for changes in the cost of orbital delivery by the 2035–2040 period are examined.

Key words: data centers, space, computational capacity, energy optimization, artificial intelligence, CAPEX, OPEX, Nvidia NVL72 GB200, Falcon 9

Развитие искусственного интеллекта стало главным фактором рекордно стремительного роста спроса на вычислительные мощности. По затратам потребления современные центры обработки данных (ЦОД) уже равняются с городами. Традиционное решение – возведение новых электростанций – не только усугубляет экологическую нагрузку, но и создает эффект перекрестного субсидирования: инвестиции в энергомощности для ИИ закладываются в тарифы, что ведет к росту стоимости энергии для конечных потребителей. В данной статье мы проанализируем перспективы и экономический потенциал альтернативного метода удовлетворения вычислительных потребностей.

Метод заключается в отправке на орбиту Земли спутников, работающих на солнечной энергии. Благодаря тому, что Солнце находится в зоне постоянной видимости солнечных панелей – экологически чистого источника, энергия будет генерироваться непрерывно. Вакуум в космосе является идеальным теплоизолятором от внешних источников нагрева, а окружающая температура среды становится эффективным естественным радиатором для отвода тепла от дата-центров. По ключевым физическим параметрам – условиям охлаждения и доступности энергии – система обещает быть на порядок эффективнее наземных аналогов. Остается проанализировать, сможет ли концепция орбитального дата-центра окупить свои капитальные затраты и превзойти наземные центры по экономической эффективности.

Затраты на создание и эксплуатацию дата-центров подразделяются на капитальные (CAPEX) и операционные (OPEX). Основной характеристикой капитальных затрат является продолжительность использования. Они включают в себя такие параметры, как оплата строительства, проектирование и запуск системы. В случае наземных серверов – стоимость земли, а космических – затраты на запуск и развертывание на орбите. Операционные расходы возникают в процессе непосредственной работы дата-центров. В их число входят расходы на зарплату специалистов, обслуживающих систему, замену поврежденного оборудования и передачу данных для вычислений. Главными же статьями затрат будут электроэнергия и охлаждение.

При подсчете будем отталкиваться от усредненных значений. Расчет затрат будет производиться на 1 МВт производимой мощности – стандартную единицу для сравнения дата-центров. Благодаря широкому распространению наземных ЦОДов можно использовать надежные отраслевые данные. Орбитальные ЦОДы, в противовес, не имеют открытой статистики, поэтому мы произведем расчет стоимости запуска и эксплуатации самостоятельно, исходя из физических параметров оборудования и стоимости вывода груза на орбиту.

Современные чипы не устойчивы к космической радиации, поэтому помимо стоимости запуска и строительства непосредственно вычислительных стоек, следует учесть затраты на защиту оборудования. Еще одна статья расходов – отвод тепла. Из-за вакуума в космосе невозможна конвекция, следовательно единственным способом охлаждения остается излучение, для которого необходима система теплоотвода – радиаторы – огромной площади. Все эти факторы мы учли при расчете массы полезной нагрузки.

Расчет CAPEX для орбитального ЦОДа мощностью 1 МВт:

Для достижения необходимой мощности 1 МВт на базе стоек Nvidia NVL72 GB200 требуется 8,3 стойки. Вес одной стойки с оборудованием составляет около 1400 кг [1]. В результате общая масса будет составлять 11,6 тонны. К массе вычислительного оборудования добавляется масса обеспечивающих систем:

- солнечные панели – 30 тонн;
- радиаторы для отвода тепла – 30 тонн;
- защита от радиации – 20 тонн.

Итоговая масса полезной нагрузки будет составлять 91,6 тонны.

Стоимость запуска Falcon 9 на выведение груза на орбиту составит \$2500 за кг, или \$229 млн [2]. Сами стойки (без систем охлаждения) оценены в \$2,25 млн за штуку, или \$18.7 млн за все. Итоговый CAPEX орбитального ЦОДа составит \$247,7 млн.

Помимо расчета космического запуска, актуального на 2026 год, необходимо учесть тенденцию снижения стоимости запуска грузов на орбиту. По данным Google в среднесрочной перспективе (2035–2040 гг.) стоимость запуска 1 кг полезной нагрузки может снизиться до \$200 за килограмм [3].

Для расчета OPEX возьмем промежуток 10 лет.

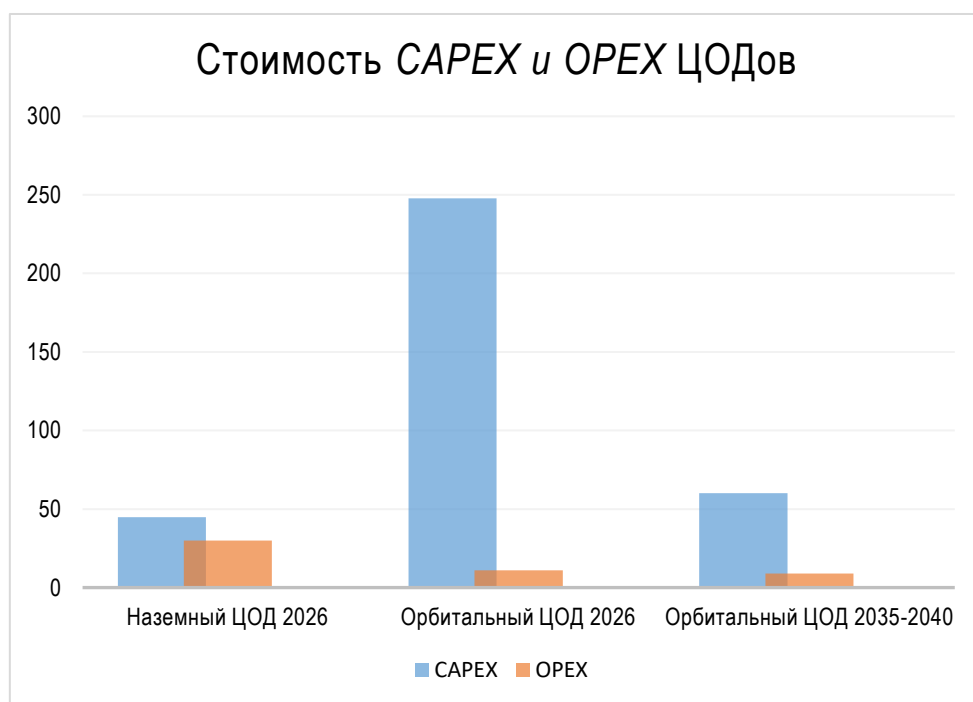


Рис. 1. Сравнение затрат для наземных и орбитальных ЦОДов на горизонте 10 лет

На графике (рис. 1) представлено сравнение затрат для наземных и орбитальных ЦОДов на горизонте 10 лет. Как видно из графика, сегодня орбитальные ЦОДы проигрывают наземным по капитальным затратам более

чем в 5 раз – главным образом из-за высокой стоимости переноса на орбиту. Однако с учетом прогнозируемого развития космических технологий к середине 2030-х годов стоимость полетов на орбиту снизится в разы.

Абстрагируемся от капитальных затрат и сосредоточимся на операционных. Даже с учетом того, что для устранения неисправностей появятся расходы на ремонтные миссии или замену оборудования, операционные затраты гораздо ниже, чем у наземных ЦОДов – прежде всего благодаря бесплатной энергии и естественному охлаждению.

По результатам нашего анализа можно с уверенностью сказать: на сегодняшний день орбитальные ЦОДы экономически нецелесообразны. Однако важно понимать, что стоимость перемещения полезного груза в космос снижается. По оптимистичным прогнозам, к 2040 году стоимость запуска может снизиться до \$50-100 за кг. Глава SpaceX Илон Маск озвучивает цифру 2–3 года для становления космических ЦОДов выгоднее наземных. Он также прогнозирует, что через пять лет ежегодный ввод мощностей в космосе превзойдет все наземные ЦОДы [4].

Важно понимать: на сегодняшний день орбитальные ЦОДы не могут стать универсальной заменой наземным. Высокая задержка сигнала делает их непригодными для задач, требующих мгновенного отклика. Однако не стоит забывать о развитии технологий – уже ведется разработка систем лазерной межспутниковой связи, способной передавать данные с минимальными потерями. Создание глобальной сети ретрансляторов позволит сократить задержки до уровня, сопоставимого с наземными коммуникациями. Это позволяет предположить, что орбитальные ЦОДы смогут выйти за рамки фоновых вычислений и стать частью универсальной вычислительной инфраструктуры.

Списывать идею орбитальных ЦОДов со счетов как экономически бесперспективную нельзя. Уже в начале 2027 года Google планирует тестовый запуск орбитальных ЦОДов для исследования их устойчивости и производительности [3].

Список используемых источников

1. Осколков И. Суперускоритель по суперцене – NVIDIA GB200 NVL72, вероятно, будет стоить \$3 млн // ServerNews. 17.07.2024. URL: <https://servernews.ru/1108115> (дата обращения: 03.03.2026).
2. Falcon 9 Block 5 Technical Specifications // Space Launch Now. 2026. URL: <https://spacelaunchnow.app/> (дата обращения: 04.03.2026).
3. Google решила запустить дата-центры в космосе // devby.io. 3 ноября 2025. URL: <https://devby.io/news/google-reshila-zapustit-data-tsentry-v-kosmose> (дата обращения: 04.03.2026).
4. Shilov A. Sam Altman fires back at Elon Musk's proposal for space-based data centers... // Tom's Hardware. 22.02.2026. URL: <https://www.tomshardware.com/...> (дата обращения: 01.03.2026).

Статья представлена кандидатом технических наук, и.о. заведующего кафедрой СОД СПбГУТ, доцентом Ю. М. Бородянским.

УДК 621.396.2

РЕАЛИЗАЦИЯ MESH СЕТИ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ESP32**Т. Р. Мунасипов** (студент группы ИКТР-22, СПбГУТ)**М. В. Никитин** (студент группы ИКТР-22, СПбГУТ), nikitin1.mv@sut.ru**Ф. П. Шехов** (студент группы ИКТР-22, СПбГУТ)

В статье рассмотрена Mesh-сеть, ее архитектура и интегрирование в повседневную жизнь. Было проведено экспериментальное создание ячеистой сети с помощью протокола ESP-Mesh в условиях трехузловой конфигурации на базе микроконтроллеров ESP32 с оценкой базовых параметров связи. Продемонстрированы возможности отправки и получения данных корневым узлом, а также получение данных другими узлами. Последующее развитие технологии в ближайшем будущем.

Mesh-сеть, ячеистая сеть, протокол ESP-Mesh, ESP32**IMPLEMENTATION OF A MESH NETWORK BASED ON ESP32 MICROCONTROLLERS****Nikitin M., Munasipov T., Shekhov F.**

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article discusses the Mesh network, its integration into everyday life, and architecture. An experimental creation of a mesh network was carried out using the ESP-Mesh protocol in a three-node configuration based on ESP32 microcontrollers with an assessment of the basic communication parameters. The possibilities of sending and receiving data by the root node, as well as receiving data by other nodes, are demonstrated.

Key words: Mesh network, mesh network, ESP-Mesh protocol, ESP32

Связи с быстрым развитием новых технологий в сфере телекоммуникаций повышаются и требования пользователей к сети такие как: способы и время передачи данных, помехозащищенность и защита информации, работа в чрезвычайных ситуациях и в труднодоступных районах. Одним из решений таких проблем стала беспроводная персональная самоорганизующаяся сеть Mesh. Основная идея Mesh заключается в децентрализации: сеть не имеет строгой иерархии, а ее устойчивость и покрытие обеспечиваются множеством равноправных связей между узлами.

Суть самоорганизующихся сетей – предоставление абоненту возможности доступа к различным сетевым услугам посредством передачи и приема «своего» трафика через соседних абонентов, без использования любого рода базовых станций, точек доступа и т.п. [1]. Mesh-сеть является ячеистой струк-

турой, которая состоит из беспроводных статичных маршрутизаторов, обеспечивающая зону покрытия мобильных и стационарных абонентов, имеющих доступ к одному из маршрутизаторов (рис. 1). Одной из особенностей является, то Mesh-сеть позволяет добавлять новые узлы в существующую инфраструктуру без вмешательства администратора. Режим энергосбережения в mesh-сетях является опциональным. Так, MAP-узлы (Mobile Application Part) всегда активны, поскольку в любой момент к ним могут обратиться устройства, не поддерживающие IEEE 802.11s и соответствующий режим энергосбережения [2]. Однако для устройств с автономным питанием (разного рода датчики, ноутбуки, телефоны и т.п.) сбережение энергии – актуальная задача. Так же сеть автоматически находит наиболее быстрые и защищенные маршруты, даже если узлы блокированы или теряют сигнал. Mesh-технология становится особенно необходимой при отсутствии проводной инфраструктуры для соединения станций [3].

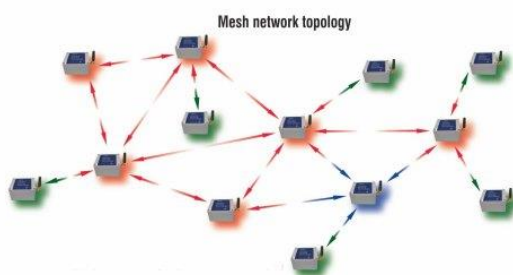


Рис. 1. Топология Mesh-сети

Для реализации эксперимента создания топологии Mesh-сети точка – точка (рис. 2) на рабочей частоте 868 МГц, использованы платы ESP32-WROOM-32. Платы имеют следующие характеристики: напряжение питания 3.6 В, средний ток в активном режиме 80мА, при работе с Wi-Fi сигналом мощность 100 мВт, при работе с Bluetooth сигналом мощность 15 мВт. Три платы получили прошивку на основе стека ESP-Mesh из ESP-IDF, так же была настроена сеть, выбран канал 6 (2.4 ГГц), реализована автоматический подъем корневого узла (Root) по критерию подключения к внешнему Wi-Fi.

Проведен эксперимент, платы были разнесены на максимальное расстояние друг от друга, а именно 135 метра (рис. 4), ровно на таком промежутке сеть еще может передавать пакеты данных. Далее была проверена ретрансляция – подтверждена работа multi-hop: при отсутствии прямой связи Root–крайний узел пакет идет через промежуточный узел.

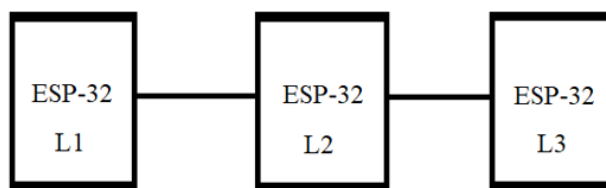


Рис. 2. Схема реализации эксперимента топологии точка – точка

Экспериментально подтверждено, что в ситуации отсутствия прямой радиовидимости NLOS (Non-Line-of-Sight) пакеты успешно проходят через промежуточный узел (L2). Это позволяет покрывать связью «мертвые зоны» без установки дополнительных точек доступа. Проведен эксперимент с отказом, произведено отключение узла-ретранслятора (рис. 3), протокол маршрутизации автоматически перестроил путь подключения к третьей плате. При отключении промежуточного узла сеть самовосстановилась за 8 секунд. За это время может быть потеряно 1–2 пакета (при частоте отправки 1 пакет/сек), но для телеметрии и умного дома это допустимо. Коэффициент доставки пакетов после восстановления стремится к 100 %. В ходе проведения эксперимента, так же были измерены задержки 15 мс – время доставки сообщения через один скачек между узлами и через два скачка 30 мс.

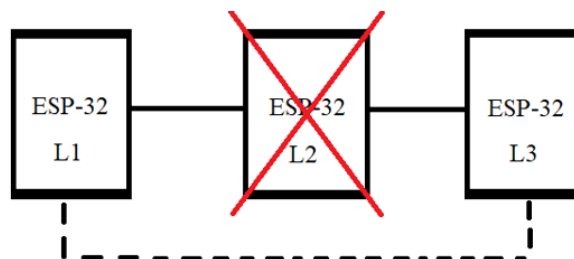


Рис. 3. Схема реализации эксперимента отказ от узла ретранслятора

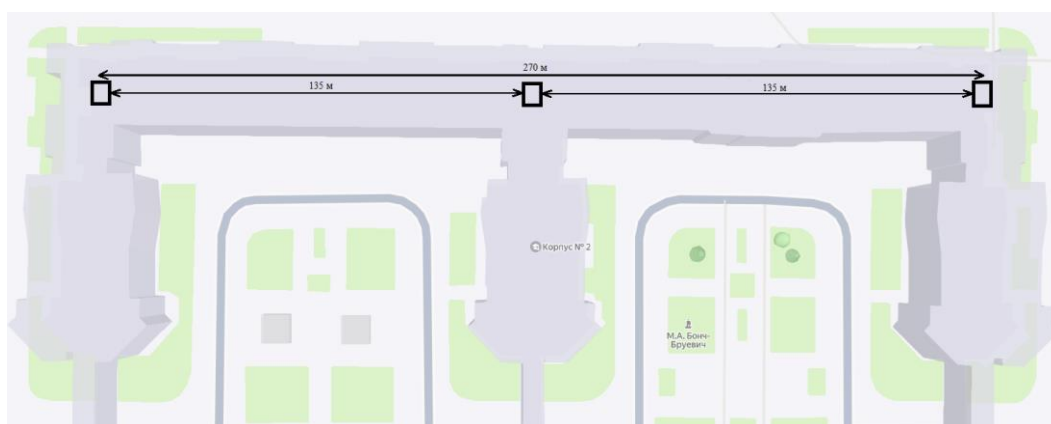


Рис. 4. Реализация эксперимента во втором корпусе СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Свое применение технология может найти в области умных вещей в доме (IoT): управление освещением, снятия показаний с датчиков без прямого воздействия, мониторинг вибрации оборудования и т.д. Также может использоваться для развертывания временных сетей, например, для обеспечения связи

на концерте, в загородном лагере и в местах ЧС. Главными преимуществами Mesh-сети можно выделить: передача данных на большие расстояния без увеличения мощности передатчика, устойчивость к изменениям в инфраструктуре сети путем добавления новых устройств, быстрая реконфигурация в условиях воздействия противника средствами РЭБ и сложной помеховой обстановки (электромагнитной), относительная простота и высокая скорость развертывания элементов в системах связи [4]. К основным недостаткам Mesh-сети можно отнести: ограниченная пропускная способность, рост задержки с каждым прыжком между узлами, ограниченная поддержка IP-протоколов, поддержка работы в диапазоне 2.4ГГц. В ближайшем будущем технологии будут усовершенствовать свои возможности, планируется полный переход к стандарту IEEE 802.11s, это позволит работать в одной сети с роутерами от других производителей, увеличение пропускной способности и интеграция с облачными платформами.

Проведенные эксперименты позволяют понять, что на базе плат ESP32-WROOM-32 возможно использовать для организации небольшой Mesh-сеть, а также провести несколько сценариев использования сети. В наши дни и ее стремительное развитие будет затрагивать все больше областей ее применения.

Список используемых источников

1. Абрамова Н. И., Ляшук М. З. Помехозащита каналов радиоуправления и передачи данных группы робототехнических комплексов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2024): Материалы XIII Международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2024 Т. 3. С. 11–15. EDN: ХНАFUE.
2. Вишневский В., Лаконцев Д., Сафонов А., Шпилев С. Mesh-сети стандарта IEEE 802.11s – технологии и реализация // Первая миля. 2008. Т. 5–6. № 2–3. С. 26–31. EDN: РСYTKT.
3. Ляхов А. И., Пустогаров И. А., Шпилев С. А. Многоканальные mesh-сети: анализ подходов и оценка производительности // Информационные процессы. 2008. Т. 8. № 3. С. 173–192. EDN: ОХАЕUD.
4. Заикин Р. В., Прядкин А. М., Степынин Д. В. Технологии связи самоорганизующихся сетей в системах связи специального назначения, развертываемых для решения оперативных задач в ходе предупреждения чрезвычайных ситуаций и ликвидации их последствий // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2024): Материалы XIII Международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2024 Т. 3. С. 704–709. EDN: JDRDYL.
5. IEEE P802.11s/D2.0. Draft STANDARD for Information Technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment: Mesh Networking. IEEE Standards Activities Department. IEEE, 2008.

Статья представлена научным руководителем, заведующим кафедрой БТС СПбГУТ, доктором технических наук, доцентом Г. А. Фокиным.

УДК 004.056.53

ЛЕГКИЙ ДЕТЕКТОР УПАКОВАННЫХ ИСПОЛНЯЕМЫХ ФАЙЛОВ НА ОСНОВЕ БЛОЧНОГО ЭНТРОПИЙНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ И СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

И. О. Озеров (студент группы ИКПИ-33, СПбГУТ), ozеров.io@sut.ru

А. В. Помогалова (к.т.н., доцент кафедры ПИиВТ СПбГУТ),
pomogalova.av@sut.ru

Скалярная энтропия Шеннона является стандартным предфильтром для обнаружения упакованных исполняемых файлов, однако около 30 % упакованного вредоносного ПО обходит этот порог. Предложено блочное энтропийное профилирование: вместо единственного скалярного значения вычисляется энтропия каждого 512-байтного блока, а из распределения извлекаются статистические признаки. Дисперсия блочных энтропий фиксирует паттерны упаковки, невидимые для скалярной энтропии. В сочетании со структурными признаками PE/ELF метод достигает 99.97 % TPR при 2.3 % FPR на 3512 PE-файлах с 25 упаковщиками, превосходя 256-признаковую гистограмму EMBER (10.9 % FPR).

обнаружение упаковщиков, блочная энтропия, дисперсия, структурный анализ, PE, ELF, предфильтр

LIGHTWEIGHT DETECTOR FOR PACKED EXECUTABLE FILES BASED ON BLOCK-BASED ENTROPY PROFILING AND STRUCTURAL ANALYSIS

Ozerov I., Pomogalova A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

Scalar Shannon entropy serves as a standard pre-filter for detecting packed executable files; however, approximately 30% of packed malware bypasses this threshold. We propose a method based on block-based entropy profiling: instead of a single scalar value, the entropy of each 512-byte block is calculated, and statistical features are extracted from the resulting distribution. The variance of these block-based entropy values captures packing patterns that remain invisible to scalar entropy. When combined with structural features of PE/ELF files, this method achieves a True Positive Rate (TPR) of 99.97 % with a False Positive Rate (FPR) of 2.3 % (tested on 3,512 PE files using 25 different packers), outperforming the 256-feature histogram approach used in EMBER (which yields an FPR of 10.9 %).

Key words: packer detection, block-based entropy, variance, structural analysis, PE, ELF, pre-filter

1. Введение

Проблематика. Основу статической защиты антивирусных систем составляет сигнатурный анализ – поиск известных байтовых паттернов, характерных для конкретных семейств вредоносного программного обеспечения. Чтобы избежать обнаружения, вредоносные программы массово применяют

упаковку, сжатие или шифрование содержимого исполняемого файла с добавлением заглушки распаковки¹, восстанавливающей код при запуске. Для сигнатурного сканера упакованный файл выглядит как поток случайных байт, и прямое сопоставление паттернов становится невозможным. Как следствие, необходимо еще до передачи файла в более дорогие компоненты защиты (распаковщики, динамический анализ, песочницы) отличить упакованный исполняемый файл от обычного кода.

Актуальность. По данным Mantovani et al.² [2] свыше 65 % образцов вредоносного программного обеспечения содержат признаки упаковки. Стандартный метод – пороговое правило по средней энтропии Шеннона файла ($H > 6.8$ бит/байт), предложенное Lyda и Hamrock³ в 2007 году [1]. Однако около 30 % реальных образцов обходят этот порог, используя техники понижения выходной энтропии (byte padding – вставка нулевых блоков; partial packing – упаковка только части файла; XOR-кодирование с коротким ключом), и остаются не обнаруженными. Упаковка применяется и в легитимных целях (UPX для сжатия, Themida для защиты коммерческого ПО), следовательно задача формулируется как обнаружение факта упаковки, а не классификация вредоносности – упакованный файл передается в следующие этапы конвейера защиты.

Целью исследования является разработка метода статического обнаружения упакованных исполняемых файлов формата PE⁴ и ELF⁵, который устойчив к известным техникам понижения выходной энтропии, сохраняет низкую вычислительную стоимость (один проход по файлу без дизассемблирования, без выполнения кода), обеспечивает интерпретируемость и лучшую обобщаемость по сравнению с распределительными представлениями той же байтовой энтропии (256-мерная byte-entropy histogram из проекта EMBER, [3]). Существующие подходы либо ограничиваются скалярной энтропией и блочными долями [5], либо используют высокоразмерные распределительные признаки [3], либо требуют дизассемблирования и глубокого обучения [4, 6]. Здесь и далее: TPR (True Positive Rate) – доля верно обнаруженных упакованных; FPR (False Positive Rate) – доля чистых файлов, ошибочно помеченных упакованными.

¹ Заглушка распаковки (англ. unpacking stub, shell-код) – небольшой исполняемый фрагмент, добавляемый упаковщиком в начало файла; при запуске восстанавливает оригинальный код в памяти и передает ему управление.

² Mantovani A. et al. – исследовательская группа EURECOM (Франция); работа представлена на NDSS 2020.

³ Lyda R., Hamrock J. – исследователи NSA; классическая работа 2007 г. в IEEE Security & Privacy.

⁴ PE (Portable Executable) – формат исполняемых файлов Windows (.exe, .dll, .sys).

⁵ ELF (Executable and Linkable Format) – формат исполняемых файлов Linux/Unix.

В данной работе показано, что распределение блочной энтропии содержит достаточно информации для обнаружения низкоэнтропийной упаковки при использовании всего 12 признаков и сложности $O(N)$, без дизассемблирования.

2. Метод

В работе предлагается метод обнаружения упаковки, сочетающий профилирование распределения блочной энтропии со структурным анализом заголовков исполняемых файлов. В отличие от скалярной энтропии Шеннона [1], метод использует форму распределения блочных энтропий; в отличие от блочно-дискриминантного анализа Naval et al.⁶ [5] – статистические моменты распределения; в отличие от 256-мерной byte-entropy гистограммы EMBER [3] – компактный интерпретируемый набор из 12 признаков линейной сложности $O(N)$.

Входной файл из N байт разбивается на непересекающиеся блоки размером $B = 512$ байт. Для каждого блока вычисляется энтропия Шеннона $H(b) = -\sum p \cdot \log_2(p)$. Из полученного профиля извлекаются 9 энтропийных признаков: среднее (mean), дисперсия (variance), асимметрия (skewness), эксцесс (kurtosis), бимодальность по коэффициенту Сарля, максимальная и минимальная энтропия блока, длина наибольшей серии блоков с $H > 7.0$ (high_run) и доля таких блоков (high_fraction).

Дисперсия – ключевое дополнение к скалярной энтропии: байтово-дополненный файл чередует блоки $H \approx 0$ и $H \approx 8$, давая дисперсию ~ 16 против $\sim 2-3$ для чистых файлов, тогда как скалярная энтропия видит только среднее.

Ряд упаковщиков создает энтропийные профили, неотличимые от чистых файлов (Alienryze: mean = 4.73 при clean 4.63, variance = 2.20 при clean 2.70). Для таких случаев анализируются структурные артефакты в заголовках PE/ELF.

PE-признаки (3): wx_sections – секции с одновременными флагами WRITE и EXECUTE (упаковщику нужна секция, в которую он распакует код, в нормальном PE таких 0); ep_unusual – точка входа за пределами первой (.text) секции (упаковщик передает управление заглушке); susp_names – имена секций вне стандартного набора (UPX0, .packed, .aspack и подобные).

ELF-признаки (4): wx_segments – PT_LOAD-сегменты с флагами PF_W и PF_X; static_linked – отсутствие сегмента PT_INTERP (характерно

⁶ Naval S. et al. – группа из MNIT Jaipur (Индия); статья в журнале Sadhana, 2015.

для IoT-малвари Mirai/Gafgyt); stripped – отсутствие таблицы символов SHT_SYMTAB; susp_sections – подозрительные имена секций.

Итоговая размерность модели: 9 энтропийных + 3 структурных PE = 12 признаков для PE; 9 энтропийных + 4 структурных ELF = 13 признаков для ELF.

Классификация выполняется методом случайного леса (Random Forest, scikit-learn RandomForestClassifier с параметрами `n_estimators = 100`, `max_depth = 10`, `min_samples_leaf = 5`, `random_state = 42`, остальные – по умолчанию). Порог бинаризации вероятностного выхода подбирается по статистике Юдена $J = \text{TPR} - \text{FPR}$ на валидационной части каждого фолда во избежание утечки.

На рисунке 1 представлена визуализация описанного процесса обработки файла: входной PE/ELF – исполняемый файл параллельно проходит этапы блочного энтропийного профилирования (9 признаков из распределения моментов) и сигнатурного анализа заголовка (3 признака для PE / 4 для ELF), после чего агрегированный вектор признаков подается на вход классификатора Random Forest, выдающего бинарное решение packed/clean.

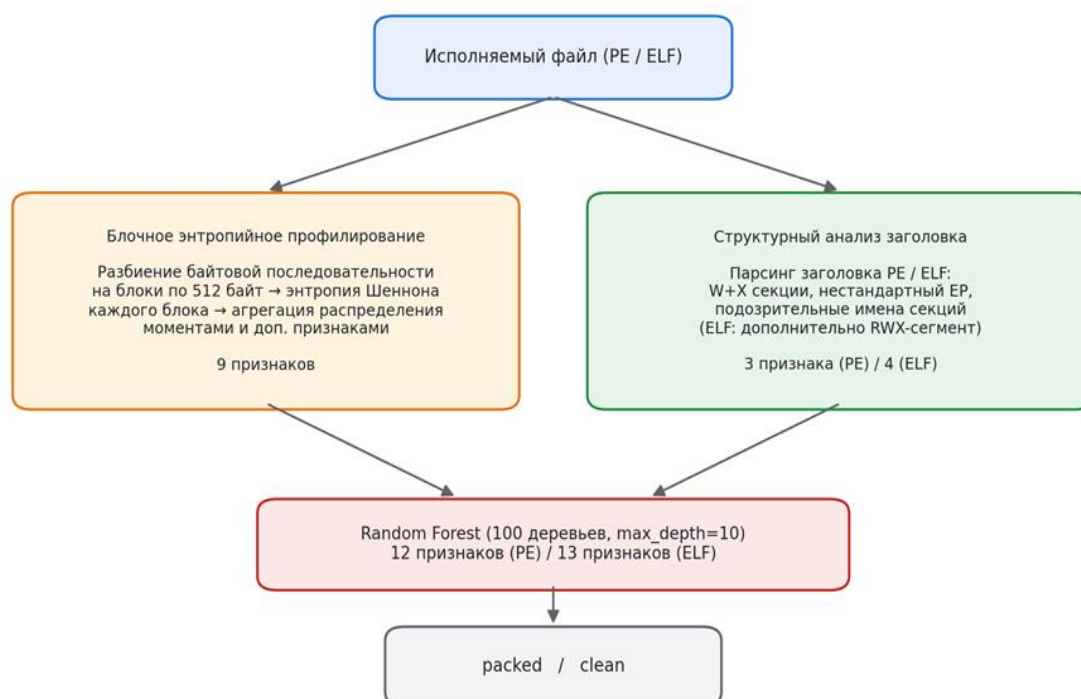


Рис. 1. Конвейер обработки файла: блочное разбиение → энтропийный профиль → 9 моментов + структурные признаки → RF

3. Экспериментальные данные

Настоящие PE – PackingData⁷ (3512 файлов): 432 чистых и 3080 упакованных 25 упаковщиками. Настоящие ELF – Packing Box⁸ (1682 файла): 482 чистых и 1200 упакованных шестью упаковщиками. Настоящее вредоносное ПО – собрано 213 нативных PE из MalwareBazaar и theZoo; после фильтрации сборок.NET и образцов без подтверждения утилитой DIE⁹ v3.10 в выборку вошли 156 файлов (119 + 37). FPR оценивается через 5-кратную стратифицированную кросс-валидацию (CV) на PackingData.

Для проверки чувствительности отдельных признаков к конкретным техникам обхода используется контролируемый набор из 3500 файлов (7 классов по 500): clean, UPX-packed и пять техник снижения энтропии – byte padding (T1), base64-кодирование (T2), partial packing (T3), dead-code insertion (T4), XOR-кодирование с коротким ключом (T5). Базовая упаковка – реальный UPX-9, источник чистых файлов – реальные ELF-бинарники, техники T1-T5 реализованы по описанию Mantovani et al. [2]. Принципиальные ограничения набора: один файл – одна техника без комбинирования, фиксированные параметры (pad_ratio = 0.6, key_len = 8 байт, pack_ratio = 0.5), ограниченный пул junk-паттернов для T4. Поэтому результаты на этом наборе интерпретируются как верхняя оценка обнаруживаемости каждой техники в изолированном виде и используются только для обоснования включения соответствующих признаков; все количественные метрики раздела 4 получены на реальных данных.

4. Результаты

Последовательное добавление признаков на PackingData (RF, 5-fold CV, рис. 2): скалярное mean – 96.2 % TPR / 38.2 % FPR; mean + variance – 97.3 % / 26.2 %; 5 признаков (mean + variance + 3 структурных) – 99.9 % / 3.7 %; 12 полных – 99.97 % / 2.3 %. Дисперсия снижает FPR с 38.2 % до 26.2 % – наиболее значимое дополнение к скалярной энтропии.

⁷ PackingData – открытый датасет реальных упакованных PE-файлов (chesvectain/PackingData на GitHub)

⁸ Packing Box – открытый исследовательский фреймворк и датасет упакованных ELF (packing-box.github.io).

⁹ DIE (Detect It Easy) – открытая утилита идентификации упаковщиков и компиляторов по сигнатурам; используется здесь как ground truth.

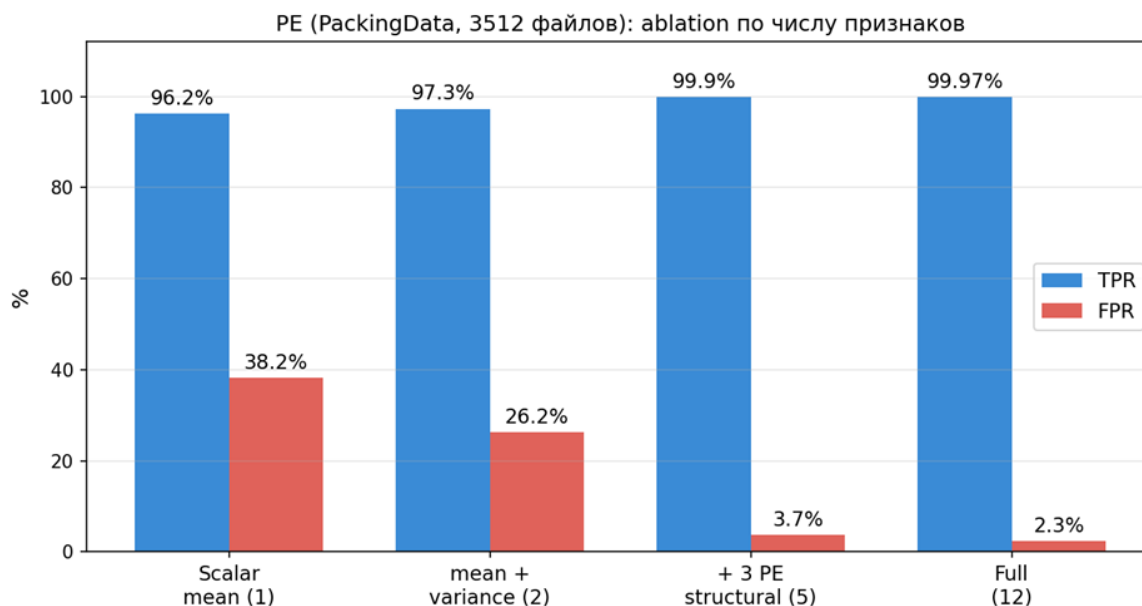


Рис. 2. Последовательное добавление признаков на PE (PackingData, 3512 файлов), RF, 5-fold CV

Анализ корреляций признаков (коэффициент Пирсона на 3512 PE) выявляет три кластера: (1) mean, high_fraction, bimodality ($|r| = 0.73 \dots 0.93$) – все измеряют долю высокоэнтропийной массы файла; (2) skewness и kurtosis ($r = -0.86$) – связанные характеристики формы распределения; (3) variance ($|r| < 0.5$ со всеми остальными). Variance отрицательно коррелирует с run-length метриками ($r = -0.24$ с high_run): упакованные файлы дают равномерно высокую энтропию (низкий variance, высокий high_run), тогда как файлы с byte padding демонстрируют обратный паттерн. Удаление variance из набора поднимает FPR с 2.3 % до >25 % – это проявление мультиколлинеарности: признак, дублируемый другими в полной модели, оказывается незаменимым при их отсутствии.

Анализ по упаковщикам (рис. 3): UPX и Themida (mean 6.99 и 7.47) обнаруживаются скалярной энтропией. Amber (mean = 4.64) пропускается скалярным порогом, но обнаруживается дисперсией (var = 6.21 vs clean 2.70). Alienryze (mean = 4.73, var = 2.20) неотличим от чистых файлов по энтропии, но ловится структурным признаком wx_sections = 2.

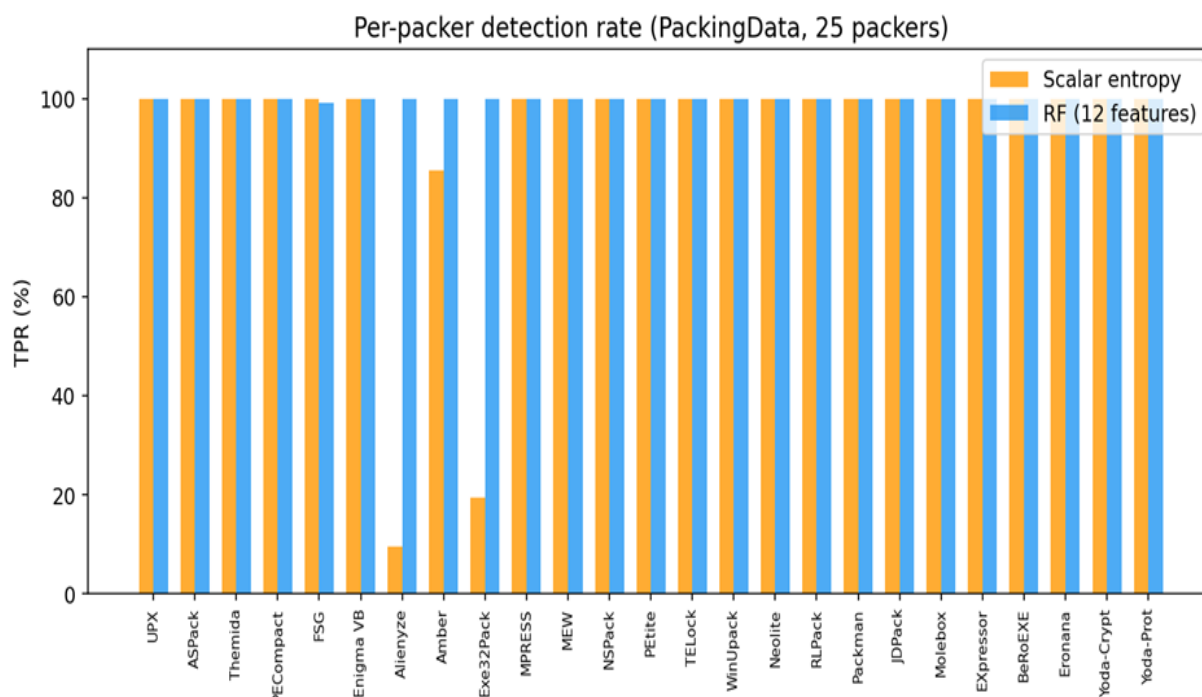


Рис. 3. TPR по 25 упаковщикам

Прямое сравнение с 256-признаковой byte-entropy гистограммой EMBER [3] на идентичных данных и одном классификаторе (RF, 5-fold CV): наши 5 признаков дают 3.7 % FPR против 10.9 % у 256-мерной EMBER-гистограммы.

LOPO-валидация¹⁰ (RF обучается на 24 упаковщиках, тестируется на 25-м): 22 из 25 упаковщиков обнаруживаются на 100% без примеров в обучении (средний TPR 98.5 %, медианный 100 %). Единственный провал – Amber (64.5 %): его рандомизированный криптогенерирует уникальные профили.

Кросс-форматный перенос: RF, обученный на 3512 PE-файлах, без переобучения применен к 1682 ELF-файлам (9 энтропийных признаков, структурные исключены). TPR = 100 %, FPR = 4.4 %. Baseline (ELF→ELF, 5-fold CV): TPR 99.7 %, FPR 2.5 %.

На 156 образцах реального вредоносного ПО 3 признака (mean + variance + high_run) дают 98.7 % TPR (154/156). 9-признаковая модель дает 97.4 % – признаки высших порядков переобучаются под лабораторное распределение. Не обнаружены 4 файла: VMProtect (коммерческий протектор

¹⁰ LOPO (Leave-One-Packer-Out) – модификация кросс-валидации: на каждом шаге один упаковщик целиком исключается из обучения и используется только для тестирования; оценивает обобщаемость на ранее не виденные упаковщики.

с виртуализацией кода: $\text{mean} = 5.25$, $\text{var} = 1.37$) и 3 файла с нормальным энтропийным профилем – предел байтового подхода.

Заключение

В работе предложен метод статического обнаружения упакованных исполняемых файлов на основе 12 признаков: 9 энтропийных (4 момента распределения блочных энтропий и 5 производных характеристик) и 3 структурных PE-признаков. Переход от скалярной энтропии к форме ее распределения по блокам снижает FPR с 38.2 % до 26.2 % уже на втором признаке. Полный разработанный набор из 12 признаков достигает 99.97 % TPR / 2.3 % FPR на 25 упаковщиках, что ниже 10.9 % FPR у 256-признаковой гистограммы EMBER при 20-кратно меньшей размерности. LOPO-валидация показывает, что 22 из 25 упаковщиков обнаруживаются на 100 % без обучающих примеров (средний TPR 98.5 %); кросс-форматный перенос PE→ELF – 100 % TPR без переобучения.

Список используемых источников

1. Lyda R., Hamrock J. Using Entropy Analysis to Find Encrypted and Packed Malware // IEEE Security & Privacy. Vol. 5. Iss. 2. 2007. DOI: 10.1109/MSP.2007.48.
2. Mantovani A. et al. Prevalence and Impact of Low-Entropy Packing Schemes in the Malware Ecosystem // Proceedings of Network and Distributed Systems Security (NDSS) Symposium (23–26 February 2020, San Diego, USA). 2020. DOI: 10.14722/ndss.2020.24297.
3. Anderson H., Roth P. EMBER: An Open Dataset for Training Static PE Malware Machine Learning Models // arXiv:1804.04637. 2018.
4. Li Sh., Ming J., Liu L., Yang L., Zhang N., et al. Adversarially Robust Assembly Language Model for Packed Executables Detection // Proceedings of the 2025 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (CCS'25, 13–17 October, Taipei, Taiwan). PP. 2024–2038. DOI: 10.1145/3719027.3765157.
5. Naval S. et al. An Efficient Block-Discriminant Identification of Packed Malware // Sadhana. 2015. Vol. 40. Iss. 5. PP. 1435–1456. DOI: 10.1007/s12046-015-0399-x. EDN: EU-SUSS.
6. Van Ouytsel C.-H. B. et al. Analysis of Machine Learning Approaches to Packing Detection // Computers & Security. Vol. 136. 2024. DOI: 10.1016/j.cose.2023.103536. EDN: ROTHMG.

Статья представлена научным руководителем, канд. техн. наук, доцентом кафедры ПИиВТ СПбГУТ А. В. Помогаловой.

УДК 004.8

ЭМОЦИОНАЛЬНО-ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ СОПРЯЖЕННОСТЬ И САМО-МОДЕЛЬ АФФЕКТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНУТРЕННЕГО ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ В ИСКУССТВЕННОМ ИНТЕЛЛЕКТЕ

Г. Д. Слезак (студент группы ИСТ-411м, СПбГУТ), slezak.gd@sut.ru

Современные системы эмоционального ИИ распознают эмоции, но не имеют внутреннего аффективного состояния с временной когерентностью. Предложены архитектура эмоционально-лингвистической сопряженности (ELCL) и само-модель аффекта (SAM) – рекуррентное динамическое состояние, обучаемое совместно с визуальными и текстовыми аффективными признаками. Функция потерь включает выравнивание SAM с проекциями модальностей, гладкость, контрастивную регуляризацию и многошаговое предсказание. Введен механизм консолидации памяти (двухскоростная сеть + реплей-буфер). Эксперименты на CMU-MOSEI: SAM снижает временную нестабильность с 0,27 до 0,013 (улучшение на порядок). PCA показывает переход от почти одномерного пространства (PC1 ratio 0,98) к двумерному (0,46), что согласуется с континуальными моделями эмоций. Архитектура интерпретируется как функциональная реализация бессознательной само-модели (уровень 2E по Метцингеру). Результаты создают основу для эмпатичных ИИ-агентов.

эмоциональный искусственный интеллект, аффективные вычисления, само-модель, рекуррентные нейронные сети, мультимодальное обучение, временная когерентность

EMOTIVE-LINGUISTIC COUPLED LEARNING AND SELF-AFFECTIVE MODEL FOR MODELING INTERNAL EMOTIONAL STATE IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Slezak G.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

Current affective AI systems recognize emotions but lack an internal affective state with temporal coherence. This paper proposes the Emotive-Linguistic Coupled Learning (ELCL) architecture and the Self-Affective Model (SAM) – a recurrent dynamic state trained jointly with visual and textual affective features. The loss includes modality alignment, temporal smoothness, contrastive regularization, and multi-step prediction. A memory consolidation mechanism (two-speed network + replay buffer) is introduced. Experiments on CMU-MOSEI show that SAM reduces temporal instability from 0.27 to 0.013 – an improvement of more than an order of magnitude. PCA reveals a transition from an almost one-dimensional space (PC1 ratio 0.98) to a two-dimensional one (0.46), qualitatively consistent with continuous emotion models. The architecture is interpreted as a functional implementation of a pre-conscious self-model (level 2E in T. Metzinger's theory). The results lay a foundation for empathetic AI agents with natural affective dynamics.

Key words: affective AI, affective computing, self-model, recurrent neural networks, multi-modal learning, temporal stability

Современные системы эмоционального искусственного интеллекта (ЭИИ), несмотря на значительные успехи в распознавании эмоций по мимике, речи и тексту, обладают рядом принципиальных ограничений. Эмоциональные реакции, предсказываемые моделями, как правило, статичны или дискретны – они не обладают инерцией, затуханием и плавностью переходов, характерных для человеческих аффективных процессов. Визуальные и текстовые аффективные сигналы обрабатываются независимо, без формирования единого внутреннего представления, а внутренние состояния глубоких нейросетей не поддаются содержательной интерпретации и не соотносятся с психологическими моделями эмоций [1]. Указанные ограничения препятствуют созданию целостных когнитивных архитектур, в которых аффективные процессы интегрированы с языковыми и поведенческими компонентами.

В данной работе предлагается подход, направленный на преодоление перечисленных ограничений путем введения в архитектуру искусственного интеллекта внутреннего динамического состояния – само-модели аффекта (Self-Affective Model, SAM). SAM представляет собой рекуррентный контур, который обновляется под влиянием внешних стимулов и внутренних предсказаний, интегрируя информацию от визуальной и текстовой модальностей. Обучение SAM основано на принципе эмоционально-лингвистической сопряженности (Emotive-Linguistic Coupled Learning, ELCL) – многокомпонентной функции потерь, обеспечивающей согласованность с модальностями, временную когерентность, контрастивное разнообразие и предсказательную способность.

Теоретическим основанием предлагаемого подхода служит теория само-модели Т. Метцингера [2], согласно которой любой сложный когнитивный агент обладает внутренней репрезентацией себя, обеспечивающей интеграцию информации, временную когерентность и регуляцию поведения. В рамках этой теории выделяется уровень 2Е – бессознательная само-модель, выполняющая указанные функции без феноменального опыта. Именно этот уровень реализуется в SAM. Кроме того, архитектура опирается на психологические модели эмоций: круговую модель Дж. Рассела [3], постулирующую двумерное пространство валентности и возбуждения, а также компонентную теорию, подчеркивающую динамический, разворачивающийся во времени характер эмоций (К. Шерер).

Общая архитектура модели включает следующие компоненты:

1. Визуальный энкодер получает последовательность векторов Facet (35 измерений на кадр);
2. Текстовый энкодер использует предобученные эмбединги GloVe (300 измерений), усредненные по временным сегментам;
3. Проекционные слои линейно отображают визуальные и текстовые признаки в общее латентное пространство размерности $d = 64$:

$$v_t = W_{vis} \cdot x_{vis_t} + b_{vis}, t_t = W_{txt} \cdot x_{txt_t} + b_{txt}.$$

4. Само-модель аффекта (SAM) – рекуррентная сеть на основе GRU, которая агрегирует визуальные проекции во времени: $h_t = GRU(v_t, h_{t-1})$, где $h_t \in \mathbb{R}^d$ – внутреннее аффективное состояние в момент t (вектор размерности 64); $h_0 = 0$. Текстовые проекции t_t в GRU не поступают, а участвуют только в функции потерь как «целевой» ориентир;

5. Механизм консолидации памяти – двухскоростная архитектура с быстрой (fast) и медленной (slow) сетями одинаковой структуры. Быстрая сеть обновляется на каждом шаге, медленная – реже через реплей-буфер, где сохраняются переходы с высокой ошибкой предсказания. Консолидация осуществляется как teacher-student дистилляция, что позволяет удерживать долговременные аффективные паттерны.

Обучение SAM минимизирует многокомпонентную функцию потерь:

$$L = \lambda_{vis} \cdot L_{vis} + \lambda_{txt} \cdot L_{txt} + \\ + \lambda_{smooth} \cdot L_{smooth} + \lambda_{contrast} \cdot L_{contrast} + \lambda_{pred} \cdot L_{pred},$$

с весами, подобранными эмпирически: $\lambda_{vis} = \lambda_{txt} = 1,0$; $\lambda_{smooth} = \lambda_{contrast} = \lambda_{pred} = 0,1$.

Потери согласованности с модальностями (L_{vis}, L_{txt}) вычисляются как 1 минус среднее косинусное сходство между состоянием h_t и соответствующей проекцией (v_t или t_t). Потеря временной гладкости L_{smooth} представляет собой средний квадрат евклидова расстояния между соседними состояниями $\|h_{t+1} - h_t\|^2$. Контрастивная составляющая реализована как InfoNCE [4] и предотвращает коллапс представлений, поощряя близость визуальной и текстовой проекций одного видео и их удаленность от проекций других видео. Предсказательная потеря (Predictive ELCL), опирающаяся на теорию предсказательного кодирования [5], заставляет SAM предсказывать следующую визуальную проекцию через линейный декодер:

$$\hat{v}_{t+1} = W_{pred} \cdot h_t + b_{pred}, L_{pred} = 1/(T-1) \sum_{t=1}^{T-1} \|\hat{v}_{t+1} - v_{t+1}\|^2.$$

Эксперименты проводились на наборе данных CMU-MOSEI (более 23 тыс. видеофрагментов, 60 кадров). Визуальные признаки – Facet (35D), текстовые – GloVe (300D). Сравнивались три модели: Baseline (среднее проецирование v_t и t_t без рекуррентного контура), ELCL (полная модель с SAM) и Predictive ELCL (с предсказательной веткой). Обучение – 5 эпох, оптимизатор Adam ($lr = 10^{-3}$), размер батча 8.

Метрики оценки включали:

1. TS (Temporal Stability) – средняя норма разности соседних состояний: $TS = (1/(T - 1)) \sum \|h_{t+1} - h_t\|$;

2. PC1 ratio – доля дисперсии первой главной компоненты;

3. PC2 std – стандартное отклонение по второй компоненте;

4. SAC, A2S – косинусное сходство между модальностями и с SAM;

5. Точность классификации эмоций (логистическая регрессия).

Из таблицы 1 видно, что введение SAM и потери гладкости приводит к улучшению стабильности на порядок.

ТАБЛИЦА 1. Временная стабильность (TS)

Модель	TS
Baseline	0,2707
ELCL	0,0133
Predictive ELCL	0,0126

PCA усредненных состояний (табл. 2) показывает переход от почти одномерного пространства (Baseline: 0,9826) к выраженному двумерному (Predictive ELCL: 0,4576), что качественно согласуется с круговой моделью Рассела.

ТАБЛИЦА 2. Анализ главных компонент (PCA)

Модель	PC1 ratio	PC2 std
Baseline	0,9826	-
ELCL	0,6901	0,015
Predictive ELCL	0,4576	0,011

Исследование вклада компонентов (табл. 3) показывает, что контрастная потеря критически необходима для предотвращения коллапса

представлений, а потеря гладкости снижает TS в 13 раз; полная ELCL обеспечивает наилучший баланс.

ТАБЛИЦА 3. Абляционное исследование

Модель	PC1 ratio	PC2 std	TS
Полная ELCL	0,690	0,015	0,013
Без Smooth	0,991	0,090	0,170
Без Contrast	0,997	0,0005	0,0002
Без доп. потерь	0,9999	0,0017	0,080

Согласно таблице 4, медленная сеть дает самое богатое пространство (PC1 ratio = 0,73), а комбинированное представление – наиболее компактное (PC2 std = 0,0112) при низком TS.

ТАБЛИЦА 4. Метрики консолидации памяти

Модель	PC1 ratio	PC2 std	TS
Fast	0,9847	0,0152	0,0132
Slow	0,7295	0,0269	0,0249
Combined	0,9622	0,0112	0,0146

Классификация эмоций на представлениях SAM показала точность 68,8%, почти не уступая сырым признакам (69,4%). Ошибка предсказания следующего визуального вектора для SAM (MSE = 0,1471) выше, чем у baseline (0,0733), что объясняется высокой автокорреляцией входных признаков.

Для демонстрации практической применимости SAM интегрирована с языковой моделью Llama 3.1 8B. Вектор состояния h преобразовывался в текстовое описание эмоции через проекцию на первую главную компоненту (PC1 в валентность) и норму (интенсивность). Описание добавлялось в запрос. Команды /reset (сброс в нейтральное состояние) и /improve (сдвиг в позитивную область) позволяли управлять состоянием. Диалог подтвердил ожидаемую динамику: при негативных значениях PC1 ответы агента пессимистичны, при позитивных – оптимистичны; команда /improve предсказуемо изменяла тон генерации.

Таким образом, архитектура ELCL и SAM решает задачу формирования внутреннего динамического аффективного состояния с временной когерентностью и мультимодальной интеграцией. Экспериментально достигнуто улучшение временной стабильности на порядок и получено двумерное латентное пространство, согласующееся с психологическими моделями. Абляционное исследование подтвердило критическую роль контрастивной регуляризации и гладкости. Практическая значимость подкрепляется прототипом управления тональностью LLM через SAM.

Перспективы включают автоматическое обновление SAM по тексту пользователя, сквозную интеграцию с LLM (контекстные эмбединги), расширение на аудиоканал, создание онлайн-версии для реального времени и разработку социальной SAM для межсубъектных аффективных процессов.

Список используемых источников

1. Picard R. W. Affective Computing. – Cambridge, MA: MIT Press, 1997. 292 p.
2. Metzinger T. Being No One: The Self-Model Theory of Subjectivity. Cambridge, MA: MIT Press, 2003. 699 p.
3. Russell J. A. A circumplex model of affect // Journal of Personality and Social Psychology. 1980. Vol. 39, N 6. PP. 1161–1178.
4. Oord A. van den, Li Y., Vinyals O. Representation learning with contrastive predictive coding // arXiv preprint arXiv:1807.03748. 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1807.03748> (дата обращения: 29.04.2026).
5. Friston K. The free-energy principle: a unified brain theory? // Nature Reviews Neuroscience. 2010. Vol. 11. N 2. P. 127–138. DOI: 10.1038/nrn2787.

Статья представлена научным руководителем, заведующим кафедрой ИУС СПбГУТ, и.о. декана факультета ИТПИ, кандидатом технических наук, доцентом В. Л. Литвиновым.

УДК 004.89

SQL-АГЕНТ КАК САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ В AI-ПАЙПЛАЙНЕ

И. Д. Слободчиков (студент группы ИКПИ-24, СПбГУТ),
slobodchikov.id@sut.ru

В статье представлено архитектурное обоснование и описание разработки изолированного SQL-агента как критического компонента современного конвейера обработки данных средствами искусственного интеллекта (AI-pipeline). Основное внимание уделено авторским методикам предотвращения деградации качества ответов (до 39% в многошаговых диалоговых сессиях), возникающей при перегрузке контекста больших языковых моделей (LLM). Предложен и программно реализован комплекс решений: алгоритм динамического усечения схем баз данных (schema linking) на основе генерации с дополненной выборкой (RAG), политика обоснованных повторных запросов (honest retries) с обратной связью от системы управления базами данных (СУБД) и механизм независимой верификации критических данных. Экспериментальные данные на эталонном наборе тестов (бенчмарке) BIRD подтверждают эффективность использования специализированных моделей с развитыми механизмами рассуждения (reasoning models), в частности Arctic-SQL-R1, позволяющих достичь точности 71,8% при сохранении операционной гибкости системы.

SQL-агенты, Text-to-SQL, AI-пайплайны, большие языковые модели (LLM), деградация контекста, AI агенты

SQL AGENT AS A STANDALONE MODULE IN AN AI PIPELINE

Slobodchikov I.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper presents the architectural rationale and description of the development of an isolated SQL agent as a critical component of a modern AI-powered data processing pipeline (AI pipeline). The main focus is on the authors' proprietary methods for preventing degradation of response quality (up to 39% in multi-step dialogue sessions) that occurs due to context overload in large language models (LLMs). A set of solutions has been proposed and programmatically implemented: a dynamic database schema truncation algorithm (schema linking) based on retrieval-augmented generation (RAG), a policy of honest retries with feedback from the database management system (DBMS), and a mechanism for independent verification of critical data. Experimental results on the BIRD benchmark confirm the effectiveness of using specialized models with advanced reasoning mechanisms (reasoning models), in particular Arctic-SQL-R1, achieving an accuracy of 71.8% while preserving the system's operational flexibility.

Key words: SQL agents, Text-to-SQL, AI pipelines, large language models (LLMs), context degradation, AI agents

Интеграция больших языковых моделей (Large Language Models, LLM) в корпоративные информационные ландшафты требует обеспечения надежного и безопасного доступа к структурированным данным, хранящимся в реляционных системах управления базами данных (СУБД). Традиционный монолитный подход, предполагающий непосредственное включение описания структур таблиц и баз данных (схем БД) в общий контекст запроса к модели, на практике демонстрирует низкую устойчивость [1]. По мере увеличения объема диалога и усложнения топологии баз данных, способность модели корректно генерировать язык структурированных запросов (SQL) значительно деградирует.

В рамках данного исследования предлагается и обосновывается архитектурный паттерн проектирования, при котором SQL-агент выделяется в независимый, изолированный программный модуль. Основная научная гипотеза работы заключается в том, что делегирование логики взаимодействия с СУБД в автономный слой, оснащенный собственными подсистемами верификации и коррекции ошибок, позволяет не только сохранить информационную «чистоту» контекста основной языковой модели, но и существенно повысить точность извлечения данных за счет применения узкоспециализированных алгоритмов генерации.

1. Технологические вызовы и обоснование модульной архитектуры

Процесс прямого перевода текста на естественном языке в SQL-запросы внутри единого контекста модели сопряжен с рядом системных ограничений, требующих архитектурного вмешательства.

1.1. Деграция механизма внимания в объемных контекстах

Анализ поведения языковых моделей показывает, что алгоритмы обработки естественного языка подвержены так называемому эффекту потери информации в середине контекста (lost in the middle). Модели наиболее эффективно оперируют данными, расположенными в начале или в конце передаваемого сообщения [2]. Встраивание громоздких схем баз данных, объем которых в корпоративных системах зачастую достигает 10–20 тысяч токенов, в середину диалоговой истории приводит к снижению концентрации механизма внутреннего внимания (attention). Статистический анализ подтверждает, что в режиме многошагового взаимодействия (multi-turn) точность генеративных ответов падает в среднем на 39% [3].

1.2. Архитектурная изоляция и проблема ложных генераций

При монолитном подходе к проектированию AI-конвейера возникает смешение зон ответственности. Синтаксическая ошибка при формировании SQL-запроса часто приводит к комплексной ложной генерации (галлюцинации) всей системы: базовая модель пытается интерпретировать сообщение об ошибке базы данных как осмысленный ответ пользователю. Разделение архитектуры подразумевает, что модульный SQL-агент выступает в роли инкапсулированной подсистемы с жестко заданным интерфейсом обмена данными (JSON-контрактом). Это позволяет изолировать программные ошибки генерации кода от семантических ошибок логики ведения диалога и значительно снизить риск системных галлюцинаций, что согласуется с современными исследованиями природы и детекции галлюцинаций генеративного ИИ [4].

2. Разработка модуля SQL-агента: авторские наработки

Центральным объектом настоящего исследования является спроектированная архитектура агента, логика работы которого базируется на трех оригинальных алгоритмических компонентах, направленных на минимизацию контекста и повышение отказоустойчивости.

2.1. Динамическое усечение схем (Schema Linking)

Включение полной схемы определения данных (Data Definition Language, DDL) всех таблиц базы данных в каждый запрос к модели представляет собой неоптимальное и ресурсоемкое решение. Для устранения данного ограничения в составе агента реализован предварительный этап интеллектуального фильтрации на основе архитектуры RAG (Retrieval-Augmented Generation).

Проведенные в рамках смежного исследования эксперименты показали, что адаптация RAG-архитектуры для обработки структурированных табличных данных в интеграции с SQL-агентами обеспечивает точность информационного поиска до 94,8%, существенно превосходя классические векторные подходы. Применение гибридных методов фильтрации к метаданным реляционных СУБД позволяет отбирать исключительно те таблицы и столбцы, которые релевантны конкретному запросу, сокращая объем контекста, передаваемого генератору, на 85%. Данный эффект приобретает критическое значение при работе со сложными корпоративными схемами данных, в частности с бенчмарком Spider.

2.2. Алгоритм обоснованных повторных запросов (Honest Retries)

Распространенные подходы к самокоррекции языковых моделей, как правило, сводятся к повторной отправке запроса с общей директивой исправления – без передачи какой-либо диагностической информации о характере ошибки. В качестве альтернативы в настоящей работе разработан итеративный алгоритм «обоснованных повторных запросов» (honest retries), основанный на обогащении контекста структурированной обратной связью непосредственно от среды выполнения.

Алгоритм функционирует следующим образом: сформированный SQL-запрос незамедлительно передается на исполнение в СУБД. При возникновении ошибки выполнения либо получении пустого результирующего набора языковая модель получает полный технический журнал СУБД совместно с предшествующим запросом и инструкцией пересмотреть логику соединения таблиц. Цикл ограничен тремя итерациями; в случае недостижения консенсуса с базой данных агент принудительно возвращает статус отсутствия данных, что алгоритмически исключает возможность выдачи фактически недостоверного ответа.

2.3. Двойная независимая верификация (Dual Verification)

Для аналитических срезов, имеющих критическое значение для бизнес-процессов, – в частности, расчета ключевых показателей эффективности (KPI), – в системе реализован механизм «двойного слепого контроля». Один и тот же запрос параллельно обрабатывается двумя независимыми экземплярами SQL-агентов, построенных на различных архитектурах, включая методы constrained generation и мультиагентные подходы класса PICARD. Результат признается достоверным исключительно при полной идентичности результирующих наборов данных, возвращенных обоими агентами. В случае расхождения система блокирует автоматическую выдачу ответа и инициирует процедуру ручной верификации с привлечением профильного специалиста.

3. Реализация, методы интеграции и системные ограничения

С архитектурной точки зрения SQL-агент разворачивается как независимый микросервис (через gRPC/REST протоколы). Внедрение в конвейер происходит на уровне базовой LLM, которая маршрутизирует запрос и делегирует аналитическую задачу агенту.

Для успешной эксплуатации подобной системы в промышленной среде (production) необходимо строгое соблюдение следующих требований и ограничений:

- **Защита оригинальной БД и изоляция среды:** все инференс-операции должны проходить через прокси-сервер (sandbox). Данный слой обязан на аппаратном или сетевом уровне блокировать любые команды модификации данных (Data Manipulation Language: INSERT, UPDATE, DELETE, DROP). Агент должен оперировать исключительно read-only репликами баз данных для предотвращения коррупции бизнес-информации.

- **Локализация рисков ошибок:** взаимодействие между основной LLM и SQL-агентом осуществляется по жестко типизированному JSON-контракту. Это гарантирует, что синтаксические и логические ошибки базы данных (SQL exceptions) «гасятся» внутри изолированного модуля и не проникают в диалоговый контекст, снижая риск лавинообразных галлюцинаций.

- **Вычислительные мощности и задержки (Latency):** использование генеративных моделей сопряжено с высокими вычислительными затратами. Архитектура SQL-агента оптимальна для задач разведочного анализа данных (data exploration) и сложной интерактивной аналитики (ad-hoc). Однако для высокочастотных транзакционных запросов с детерминированной логикой применение агентов категорически нецелесообразно; в таких случаях следует использовать классические методы (ORM, prepared statements) для обеспечения минимального времени отклика.

4. Анализ эффективности базовых языковых моделей

Выбор языковой модели, выступающей вычислительным ядром SQL-агента, детерминирует итоговую точность системы. На рисунке 1 представлен сравнительный анализ моделей по метрике точности (accuracy) на базе академического бенчмарка BIRD в сопоставлении со стоимостью их эксплуатации.

Специализированная модель Arctic-SQL-R1-32B выступает лидером по показателю точности (71,83 %) за счет глубокой адаптации весов под синтаксис SQL, демонстрируя наилучший результат при локальном развертывании (self-hosting). В облачных сценариях оптимальный баланс демонстрирует модель DeepSeek R1, архитектура которой позволяет достигать 65,5 % точности при минимальных финансовых затратах на токенизацию.

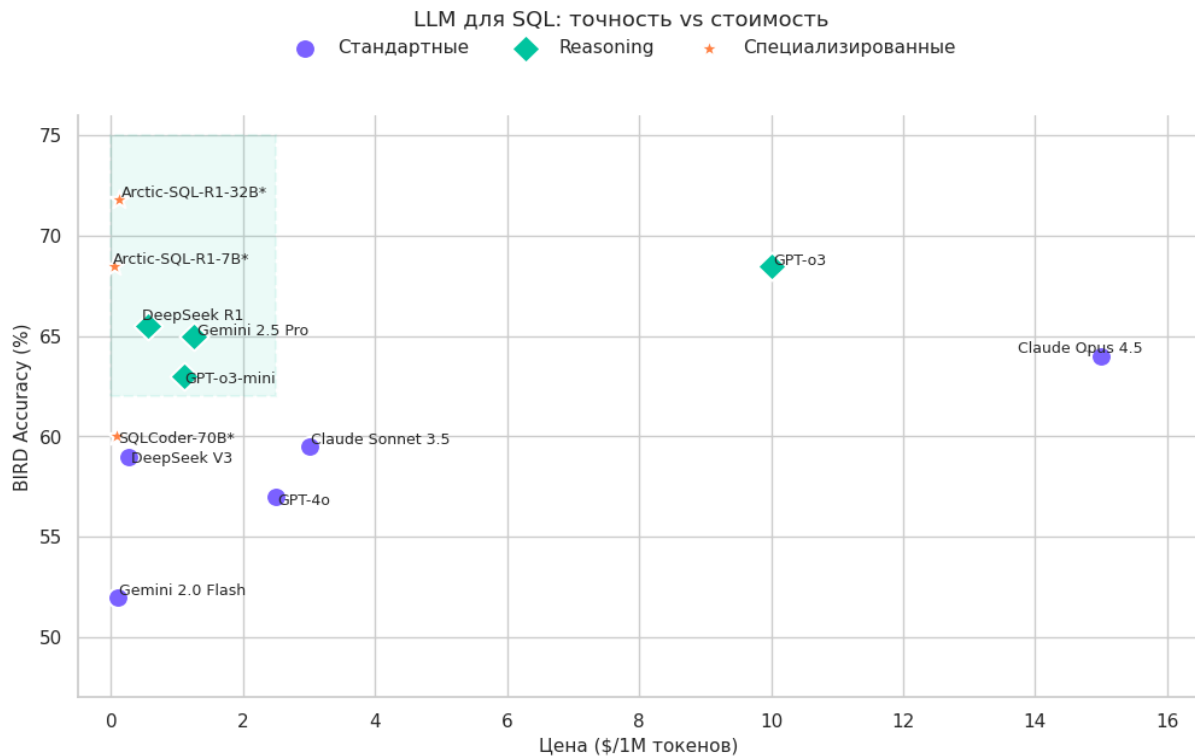


Рис. 1. Эффективность LLM в задачах генерации Text-to-SQL
(Точность в сопоставлении со стоимостью)

5. Заключение

Выделение процесса генерации SQL-запросов в формат независимого изолированного агента переводит взаимодействие искусственного интеллекта с базами данных из вероятностной генерации в надежный инженерный процесс. Разработанные авторами методы семантического усечения схем и механизмы «обоснованных ретраев» эффективно решают проблему деградации внимания LLM в длинных диалогах. Симбиоз микросервисной архитектуры с профильными языковыми моделями обеспечивает необходимый корпоративному сегменту уровень безопасности и точности, открывая новые перспективы для надежной автоматизации бизнес-аналитики.

Список используемых источников

1. Gao D., Wang H., Li Y. Text-to-SQL Empowered by Large Language Models: A Benchmark Evaluation // Proceedings of the VLDB Endowment. 2024. Vol. 17. N 5. P. 1132–1145. DOI: 10.14778/3641204.3641221.
2. Liu N. F., Lin K., Hewitt J. Lost in the Middle: How Language Models Use Long Contexts // Transactions of the Association for Computational Linguistics. 2024. Vol. 12. P. 157–173. DOI: 10.1162/tacl_a_00638.

3. Yu T., Zhang R., Yasunaga M. SPaC: Cross-Domain Semantic Parsing in Context // Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL). 2019. P. 4511–4523. DOI: 10.18653/v1/P19-1443.

4. Айсин Т. Р., Шамардина Т. В. Детекция галлюцинаций на основе внутренних состояний больших языковых моделей // Электронные библиотеки. 2025. Т. 28. № 6. С. 1282–1305. DOI: 10.26907/1562-5419-2025-28-6-1282-1305.

5. Слободчиков И. Д., Плотников П. В. Исследование методов построения RAG-систем на основе CSV-документов для повышения точности информационного поиска // Вестник СПбГУТ. 2025. Т. 3. № 4. URL: <https://vestnik-sut.ru/2025-4/C03.pdf> (дата обращения 05.06.2026).

6. Yu T., Zhang R., Yang K. Spider: A Large-Scale Human-Labeled Dataset for Complex and Cross-Domain Semantic Parsing and Text-to-SQL Task // Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). 2018. P. 3911–3921. DOI: 10.18653/v1/D18-1425.

7. Scholak T., Schucher N., Bahdanau D. PICARD: Parsing Incrementally for Constrained Auto-Regressive Decoding from Language Models // Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). – 2021. – P. 9895–9901. DOI: 10.18653/v1/2021.emnlp-main.779.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом физико-математических наук., доцентом кафедры ВМ СПбГУТ П. В. Плотниковым.

УДК 004.89

КОНТЕКСТНО-РАСШИРЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ (CAG): ПРИНЦИПЫ, ОПТИМИЗАЦИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ С RAG

И. Д. Слободчиков (студент группы ИКПИ-24, СПбГУТ),
slobodchikov.id@sut.ru

Быстро развивающаяся область больших языковых моделей (LLM) требует разработки эффективных стратегий использования внешних знаний для минимизации риска генерации недостоверной информации. Генерация с расширенным поиском (RAG) утвердилась в качестве стандарта, однако вносит существенные задержки, обусловленные этапом динамического поиска. В настоящей статье исследуется контекстно-расширенная генерация (CAG) – парадигма, предполагающая интеграцию релевантного контекста непосредственно во входной промт модели. В рамках исследования разработаны и предложены структурные методы оптимизации CAG, включающие алгоритмы иерархического разбиения, маршрутизацию на основе классификации и механизмы адаптивного сжатия. Проведен сравнительный анализ разработанных решений с базовой архитектурой RAG, демонстрирующий преимущества предложенных модификаций CAG в части скорости вывода и вычислительной стабильности для заданных классов задач.

CAG, RAG, большие языковые модели, оптимизация задержки, галлюцинации LLM, кэширование промтов

CONTEXT-AUGMENTED GENERATION (CAG): PRINCIPLES, OPTIMIZATION, AND COMPARATIVE ANALYSIS WITH RAG

Slobodchikov I.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The rapidly evolving field of large language models (LLMs) necessitates the development of effective strategies for utilizing external knowledge to minimize the risk of generating false information. Retrieval-augmented generation (RAG) has become a standard approach; however, it introduces substantial latency due to the dynamic retrieval step. This paper investigates context-augmented generation (CAG)—a paradigm that involves integrating relevant context directly into the model's input prompt. Within this framework, we develop and propose structural optimization methods for CAG, including hierarchical segmentation algorithms, classification-based routing, and adaptive compression mechanisms. A comparative analysis of the proposed solutions against the baseline RAG architecture is conducted, demonstrating the advantages of the introduced CAG modifications in terms of inference speed and computational stability for given task classes.

Key words: CAG, RAG, large language models, latency optimization, LLM hallucinations, prompt caching

Широкое внедрение больших языковых моделей (LLM) обусловило качественные изменения в методах обработки естественного языка. Тем не менее, базовые LLM оперируют исключительно статичными знаниями, ограниченными рамками обучающей выборки, что является первопричиной генерации фактологически некорректной информации («галлюцинаций») [1]. Для компенсации указанного недостатка в индустрии применяется генерация с расширенным поиском (Retrieval-Augmented Generation, RAG). Архитектура RAG подразумевает наличие внешнего модуля, извлекающего релевантные документы из базы знаний в процессе обработки запроса с их последующей передачей в LLM [2]. Несмотря на доказанную эффективность, процедура динамического поиска увеличивает общее время отклика и усложняет вычислительный конвейер, что выступает лимитирующим фактором для систем реального времени. В качестве альтернативы рассматривается парадигма контекстно-расширенной генерации (Context-Augmented Generation, CAG). Данный подход основан на упреждающем встраивании требуемого статического контекста в промпт на этапе вывода. Настоящая статья представляет разработанные авторами архитектурные методы оптимизации контекстного окна, а также результаты их сравнительного анализа с традиционными реализациями CAG и RAG.

1. Парадигма CAG и сравнение с RAG

Функционирование CAG базируется на принципе априорного предоставления контекста. В отличие от RAG, где извлечение данных происходит динамически, базовая модель CAG интегрирует предварительно структурированный массив знаний в первоначальный запрос [3].

Ключевые архитектурные различия:

- Архитектура: RAG представляет собой многокомпонентную систему (Retriever + Generator). CAG реализуется как единая генеративная модель, работающая в рамках расширенного входного вектора (промпта) без обращений к внешним базам данных на этапе вывода.
- Задержка вывода: в системах RAG задержка классифицируется как средняя или высокая вследствие вычислительных затрат на векторный поиск. В CAG временные издержки минимизируются за счет исключения поискового компонента.
- Управление контекстом: CAG предоставляет детерминированный контроль над информационным набором, обрабатываемым моделью, что исключает вероятность случайного извлечения нерелевантных или зашумленных данных.

Область оптимального применения CAG:

- Статичные базы знаний: корпоративные регламенты, нормативная документация, справочные системы, где массив данных может быть однократно инициализирован в контексте.
- Системы с жесткими ограничениями по задержке: интерактивные агенты и системы потоковой обработки.
- Высоко связанный контекст: документы, требующие целостного семантического анализа, корректность которого нарушается при фрагментации (чанкинге), применяемой в стандартном конвейере RAG.

2. Разработка методов оптимизации систем CAG

Фундаментальным ограничением базовой архитектуры CAG является конечный размер контекстного окна LLM и эффект «потери в середине» (снижение внимания модели к токенам, расположенным в центре объемного промпта). Для преодоления данных ограничений были разработаны и программно реализованы следующие методы структурной оптимизации, применяемые как по отдельности, так и в синергии.

2.1. Иерархическое разбиение на части (Hierarchical Chunking)

В рамках предложенного метода исходные документы алгоритмически организуются в многоуровневую семантическую структуру (от отдельных предложений до крупных разделов). Каждому информационному блоку верхнего уровня генерируется мета-описание, по которому система выполняет первичное сопоставление с вектором запроса. Данный многоэтапный отбор позволяет интегрировать в промпт исключительно контент релевантного раздела. Результаты апробации показывают, что увеличение уровней иерархии повышает метрику точности извлечения релевантного контекста (Precision@10) с базовых 78.0 % (свойственных плоскому разбиению) до 95.0 %. Это, в свою очередь, поднимает итоговую фактическую точность генерации (Accuracy) до 82.0 % [4].

2.2. Маршрутизация на основе классификации (Classification-based Routing)

Для минимизации когнитивной нагрузки на основную генеративную модель предложена архитектура с предварительной классификацией пользовательских запросов. Интегрированный легковесный классификатор (на базе архитектуры BERT) определяет семантический интент запроса (например: извлечение факта, процедурный анализ, суммаризация). На основе классификации запрос перенаправляется к специализированному шаблону

CAG с предзагруженным профильным контекстом. Разработанный конвейер демонстрирует высокую надежность определения типа запроса (макро-оценка $F1 = 0.85$), что гарантирует предоставление LLM строго сфокусированного контекста и обеспечивает рост точности генерации ответа (Accuracy) до 88.0 % [4].

2.3. Адаптивное сжатие и кэширование контекста (Adaptive Compression & Caching)

Реализованный механизм адаптивного контекстного сжатия осуществляет динамическое удаление стоп-слов и избыточных синтаксических конструкций из входного потока данных, сокращая объем загружаемого промпта на величину до 45 % без потери смысловой плотности. Эффективность подхода кратно возрастает за счет применения нативного кэширования (Context Caching). Симбиоз сжатия и кэширования обеспечивает устойчивость модели на экстремально длинных текстах, позволяя достигать показателя точности генерации на уровне 94.0 % даже при масштабном заполнении окна до 200 000 токенов [5].

2.4. Интеграция гибридной архитектуры RAG-CAG

Комплексным итогом разработки стала реализация гибридной конвейерной архитектуры, объединяющей все вышеописанные оптимизации с преимуществами классического поиска. В рамках данной системы оптимизированный CAG (с иерархическим разбиением, сжатием и кэшированием) применяется в качестве первичного, высокоскоростного слоя для обработки запросов по пулу известных знаний. Маршрутизатор (п. 3.2) анализирует интент: если запрос требует внешних, динамических или узкоспецифичных данных, система использует компонент векторного поиска RAG как резервный механизм (fallback). Данная архитектура «лучшего из двух миров» максимизирует усредненную итоговую точность генерации на всем спектре возможных запросов.

4. Сравнительный анализ производительности

Для верификации предложенных архитектурных решений было проведено сопоставление базового конвейера RAG, стандартной архитектуры CAG и разработанных оптимизированных моделей. Оценка производилась по метрикам фактической точности генерации и вычислительной задержки. Результаты зафиксированы в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительные результаты производительности различных архитектур

Архитектура / Метод оптимизации	Точность генерации (Accuracy, %)	Точность извлечения (Precision@10, %)	Оценка классификатора (Macro-F1)	Средняя задержка (мс)
Базовый конвейер RAG	75.0	78.0	—	500
Базовый конвейер CAG	68.0	—	—	150
CAG + Иерархическое разбиение	82.0	95.0	—	200
CAG + Маршрутизация по классификации	88.0	—	0.85	250
CAG + Адаптивное сжатие и кэширование	94.0*	—	—	180
Гибридный конвейер RAG-CAG	90.0**	95.0	0.85	350

Структура временных издержек в анализируемых системах имеет фундаментальные отличия. На рисунке 1 представлена разбивка времени обработки единичного запроса. Опираясь на данные рисунка 1, в архитектуре RAG до 150 мс затрачивается на векторный поиск и маршрутизацию к базе данных.

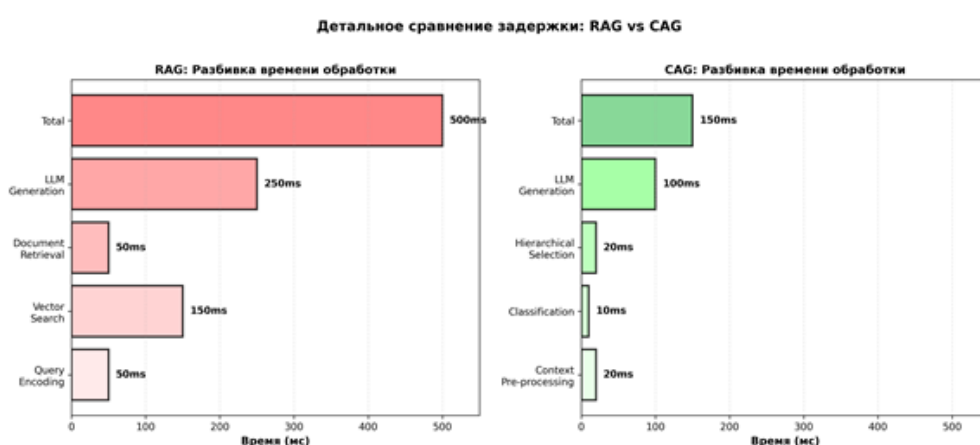


Рис. 1. Столбчатая диаграмма: Детальное сравнение задержки (RAG vs CAG).
Демонстрация этапов векторного поиска и генерации

В предложенной реализации CAG этап поиска исключен: на работу алгоритмов классификации и извлечение кэшированного контекста суммарно

расходуется не более 50 мс. Дополнительно исследовано поведение систем при масштабировании объема загружаемых данных. Зависимость качества генерации от размера контекстного окна проиллюстрирована на рисунке 2.

Рисунок 2 отражает уязвимость классического RAG: при расширении доступного пула документации (с 2 000 до 200 000 токенов) регистрируется деградация метрик точности, вызванная накоплением ошибок ретривера. В противовес этому, разработанные модели CAG (в частности, модификации с адаптивным сжатием) демонстрируют монотонный рост точности, достигая экстремума в 94% при максимальном заполнении контекстного окна. Это подтверждает целесообразность предоставления модели прямого доступа к структурированному информационному массиву [5].

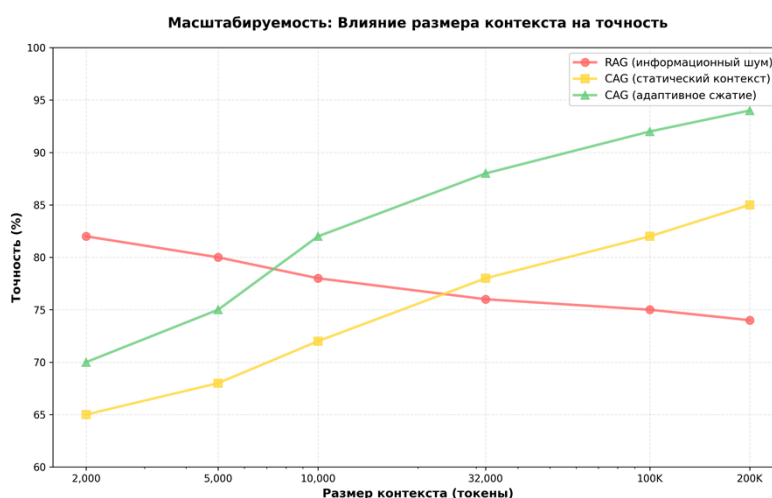


Рис. 2. Линейный график: Масштабируемость и влияние размера контекста (от 2k до 200k токенов) на точность генерации

5. Заключение

Результаты проведенного исследования подтверждают, что оптимизированная архитектура контекстно-расширенной генерации (CAG) представляет собой эффективную альтернативу RAG для систем, требующих минимизации времени отклика при работе с детерминированными наборами знаний. Исключение фазы динамического поиска и внедрение алгоритмов упреждающего кэширования в связке с маршрутизацией позволяет сократить задержку вывода в 2–3 раза и нивелировать ошибки извлечения данных.

Сравнительный анализ показал, что интеграция разработанных методов адаптивного сжатия и иерархической классификации обеспечивает устойчивое масштабирование архитектуры CAG для контекстных окон объ-

емом до 200 000 токенов. При оперировании крупными массивами статических данных предложенные модификации САГ превосходят базовый конвейер RAG по показателям фактической точности. Внедрение подобных решений обладает значительным потенциалом для проектирования высоконагруженных промышленных ИИ-систем реального времени.

Список используемых источников

1. Lewis P., Perez E., Piktus A. et al. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks // Advances in Neural Information Processing Systems. 2020. Vol. 33. P. 9459-9474.
2. Ji Z., Lee N., Frieske R. et al. Survey of hallucination in natural language generation // ACM Computing Surveys. 2023. Vol. 55, N 12. P. 1-38. DOI: 10.1145/3571730.
3. Ram O., Levine Y., Dalmedigo I. et al. In-Context Retrieval-Augmented Language Models // Transactions of the Association for Computational Linguistics. 2023. Vol. 11. P. 1316-1331. DOI: 10.1162/tac1_a_00605.
4. Gao Y., Xiong Y., Gao X. et al. Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey // Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2024. P. 3992-4017.
5. Liu N. F., Lin K., Hewitt J. et al. Lost in the middle: How language models use long contexts // Transactions of the Association for Computational Linguistics. 2024. Vol. 12. P. 157-173. DOI: 10.1162/tac1_a_00638.

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры ВМ СПбГУТ, кандидатом физико-математических наук П. В. Плотниковым.

УДК 681.5.015.5

ПРОТОКОЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПОИСКА

И. А. Тышко (студент группы 3162, СПбГМТУ), irinka-irina-t@mail.ru

В статье разработан и формализован протокол AUV-SCP (Autonomous Underwater Vehicle Search Coordination Protocol) для роя АНПА, решающих задачу распределенного поиска. Описаны структура пакетов акустической связи, алгоритм распределения зон Вороного, механизм консенсуса Raft-AUV и TDOA-навигация. Приведены таблицы команд, математические модели и результаты симуляции.

АНПА, рой роботов, акустическая связь, распределенный поиск, протокол координации, подводная навигация

PROTOCOL FOR THE INTERACTION OF AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES FOR SEARCH OPERATIONS

Tyshko I.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper develops and formalizes the AUV-SCP (Autonomous Underwater Vehicle Search Coordination Protocol) for a swarm of autonomous underwater vehicles (AUVs) engaged in distributed search tasks. The study describes the structure of acoustic communication packets, an algorithm for Voronoi-based zone allocation, the Raft-AUV consensus mechanism, and TDOA-based navigation. Command tables, mathematical models, and simulation results are also presented.

Key words: AUV, robot swarm, acoustic communication, distributed search, coordination protocol, underwater navigation

Поисковые операции в подводной среде требуют обследования больших площадей. Группа из N АНПА покрывает площадь за время, пропорциональное $1/N$, однако эффективность роя критически зависит от протокола взаимодействия [1]. Подводная среда накладывает жесткие ограничения: полоса гидроакустического канала ≤ 10 кбит/с, BER до 10^{-3} , задержка на дальности 1 км ≈ 0.65 с. Существующие физические решения (WHOI Micro-Modem, EvoLogics S2CR) не определяют прикладной протокол координации. Настоящая работа предлагает AUV-SCP – полностью специфицированный протокол уровней 3-7 модели OSI для подводных роботов.

Динамическое разбиение Вороного (1) с учетом энергетики АНПА равномерно распределяет зоны обследования, продлевает время миссии [2]. Область Ω делится на N зон по критерию взвешенного расстояния:

$$Z_i = \left\{ q \in \Omega \mid \frac{q - p_i^2}{w_i} \leq \frac{q - p_j^2}{w_j}, \quad \forall j \neq i \right\}, \quad (1)$$

где Z_i – область работы i -го робота, q – текущая точка, $p_{i,j}$ – центр зоны.

Вес w_i (2) учитывает запас энергии и скорость i -го АНПА:

$$w_i = \frac{E_i \cdot v_i}{\sum_{j=1}^N E_j \cdot v_j}, \quad (2)$$

где $E_{i,j}$ – энергия, $v_{i,j}$ – скорость.

Ширина полосы обзора (3) каждого робота определяется на основе требуемой вероятности обнаружения объекта:

$$W = 2R_s \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\ln(1 - P_d) \cdot v}{\lambda_o \cdot R_s} \right)^2}, \quad (3)$$

где R_s – радиус обнаружения, P_d – вероятность обнаружения, λ_o – весовой коэффициент.

Минимальное число аппаратов (4) со скоростью v для покрытия площади S за время T :

$$N_{min} = \frac{S}{W \cdot v \cdot T}. \quad (4)$$

Для верификации возможности обмена данными между роботами проводится оценка вероятности (5) успешной доставки пакета длиной L бит:

$$P_{delivery}(d) = (1 - BER(d))^L \cdot e^{-\lambda_{int} \cdot t_{tx}}, \quad (5)$$

где d – расстояние между объектами, BER – вероятность битовой ошибки, λ_{int} – вероятность ошибки при обработке, t_{tx} – время отправки.

BER как функция дальности (6) при $k = 1.5$ для мелководья, $k = 2.0$ для глубины:

$$BER(d) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^k\right), \quad (6)$$

где Q – Гауссиан, E_b – энергия бита, N_0 – помеха, d_0 – нормирующее значение дистанции.

В таблице 1 показана зависимость вероятности доставки сообщения с увеличением дальности при фиксированном размере пакета данных.

ТАБЛИЦА 1. Вероятность доставки ($L = 256$ байт, OFDM, SNR = 15 дБ)

Дальность, м	BER	$P_{delivery}$	Задержка, мс
200	$1.2 \cdot 10^{-5}$	0.9975	135
500	$4.8 \cdot 10^{-4}$	0.9846	338
1000	$2.1 \cdot 10^{-3}$	0.9346	676
2000	$8.7 \cdot 10^{-3}$	0.7811	1352

В системе разработан механизм автоматического выбора лидера – главного «руководителя» среди подводных аппаратов.

Таймаут выборов лидера (7) с учетом задержки акустического канала:

$$T_{election} = T_{base} + \Delta \cdot \hat{d}, \quad (7)$$

где $T_{election}$ – время выбора, $T_{base} = 5$ с – базовое время опроса, $\Delta = 0.667 \cdot 10^{-3}$ с/м – задержка, $\hat{d}$ – средняя дальность в топологии роя.

Кворум: $Q = \lfloor N/2 \rfloor + 1$. При потере лидера (нет HELLO вдвое дольше таймаута ($2 \cdot T_{election}$)) АНПА с наибольшим SRC_ID инициирует LEADER_ELECT.

Длина TDMA-фрейма (8) для N аппаратов с длиной пакета $L_{max} = 512$ байт со скоростью $R = 9600$ бит/с:

$$T_{frame} = N \cdot T_{slot} + T_{guard}, \quad (8)$$

$$T_{slot} = \frac{L_{max}}{R} + 2 \cdot \frac{d_{max}}{c}.$$

На рисунке 1 представлен стек протоколов AUV-SCP. Уровни 3-7 реализуются поверх физического OFDM-акустического канала. Минимальный размер пакета 32 байта; максимальный – 512 байт (ограничение акустического модема).

На рисунке 2 показан фрагмент пакета обмена между роботами. Заголовок включает в себя номер версии, тип пакета, номер последовательности, параметр предотвращения заикливания, кто передает пакет, кому он адресован, время посылки, длина пакета, служебные флаги и контрольная сумма для сверки. Остальная часть пакета включает само сообщение.

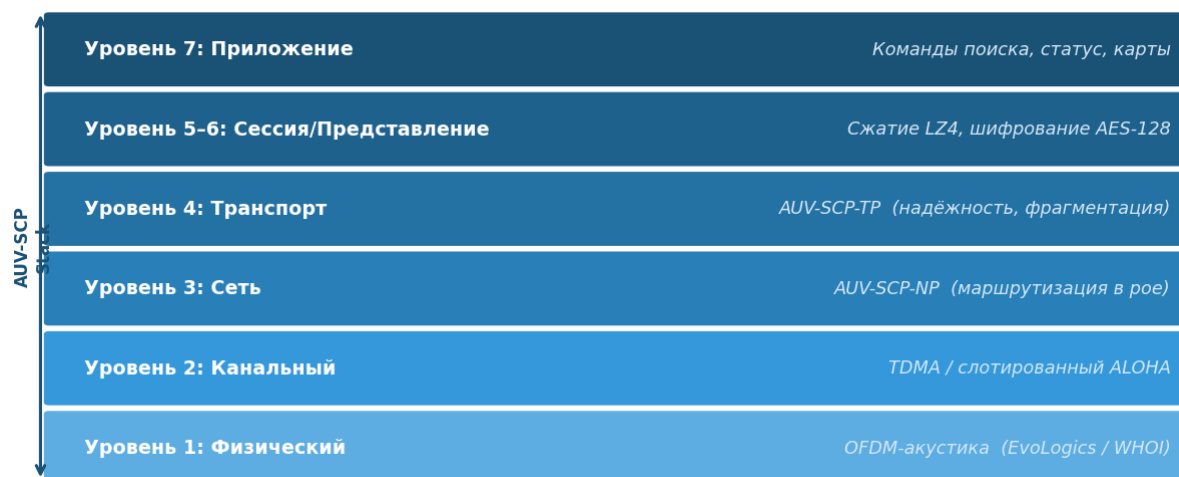


Рис. 1. Стек протоколов AUV-SCP

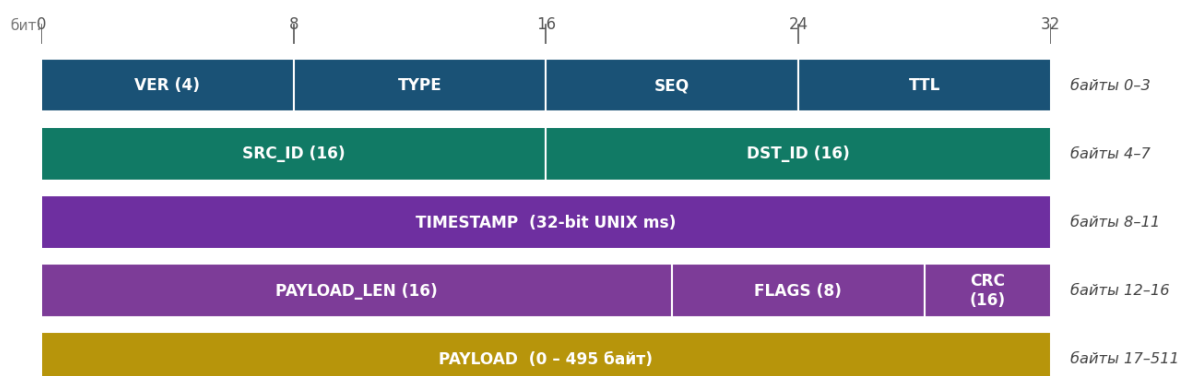


Рис. 2. Формат пакета AUV-SCP

Таблица 2 демонстрирует необходимый и достаточный набор команд для встречи роботов, выбора лидера, поиска, выбора нового лидера, выполнения задачи.

ТАБЛИЦА 2. Типы пакетов протокола AUV-SCP (поле TYPE)

Код	Название	Направление	Описание
0x01	HELLO	Broadcast	Присутствие АНПА
0x02	ZONE_ASSIGN	Лидер → Узел	Назначение зоны поиска
0x03	ZONE_ACK	Узел → Лидер	Подтверждение принятия зоны

Код	Название	Направление	Описание
0x04	STATUS_UPDATE	Broadcast	Сообщение о состоянии
0x05	DETECTION_REPORT	Узел → Лидер	Обнаружен объект
0x06	DETECTION_ACK	Лидер → Узел	Подтверждение получения
0x07	REPLAN_REQUEST	Узел → Лидер	Запрос перераспределения
0x08	REPLAN_CMD	Лидер → Узел	Новый маршрут / зона
0x09	CONSENSUS_VOTE	Broadcast	Голос в распределенном консенсусе
0x0A	CONSENSUS_COMMIT	Лидер → All	Фиксация решения консенсуса
0x0B	LEADER_ELECT	Broadcast	Инициация выборов нового лидера
0x0C	LEADER_RESP	Кандидат → All	Ответ на выборы
0x0D	PING	Any → Any	Проверка канала
0x0E	PONG	Any → Any	Ответ на PING с временной меткой
0x0F	MISSION_COMPLETE	Лидер → All	Завершение миссии, возврат
0x10	EMERGENCY_SURFACE	Broadcast	Аварийное всплытие всего роя
0x11	MAP_FRAGMENT	Any → Лидер	Фрагмент карты покрытия
0x12	SYNC_TIME	Лидер → All	Синхронизация времени

На рисунке 3 показана временная диаграмма полного сеанса поиска: инициализация (HELLO), распределение зон (ZONE_ASSIGN/ACK), поиск с периодическими (STATUS_UPDATE), донесение об объекте (DETECTION_REPORT), перепланирование (REPLAN_CMD) и завершение (MISSION_COMPLETE) [3].

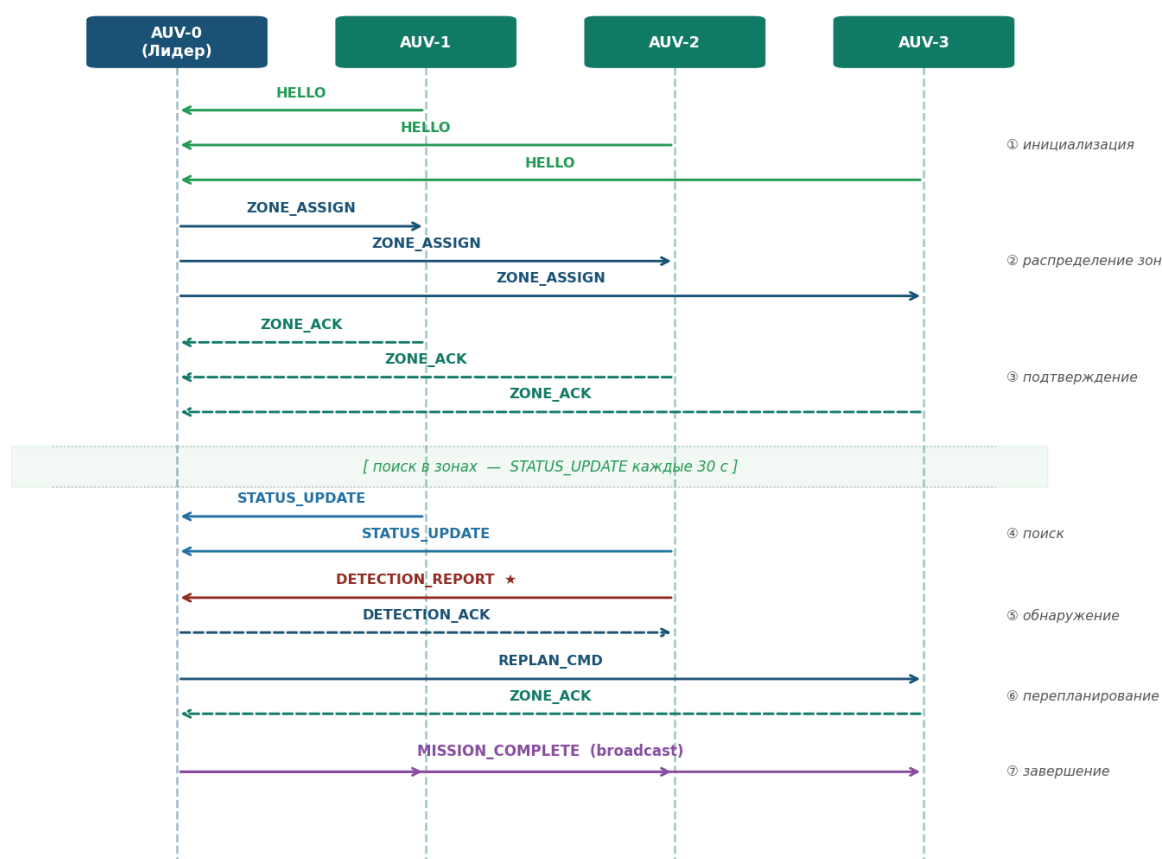


Рис. 3. Временная диаграмма сеанса поиска четырех АНПА

Таблица 3 демонстрирует, как меняется время выполнения задачи и эффективность от количества роботов.

ТАБЛИЦА 3. Время покрытия 4 км² (95 %) и энергопотребление

N, АНПА	Время, ч	Накл. эффективность	Энергия (Вт·ч/АНПА)
2	6.4	—	312
4	3.3	97 %	168
6	2.3	93 %	124
8	1.8	89 %	102

Протокол AUV-SCP эффективно организует работу группы АНПА при обследовании акватории. Его ключевые преимущества:

- компактные пакеты для акустических модемов минимизируют задержки;
- динамическое разбиение Вороного с учетом энергетики АНПА равномерно распределяет зоны обследования, продлевает время миссии;

- устойчивость к потере лидера гарантирует непрерывность работы при отказе ведущего АНПА;
- низкие накладные расходы на связь максимизируют объем полезных данных.

Разработанный протокол позволяет быстро и эффективно осмотреть большую акваторию, автоматически адаптируясь к условиям. Перспективы развития: поддержка большего числа АНПА, интеграция с системами машинного зрения, оптимизация алгоритмов разбиения зон.

Список используемых источников

1. Luo J. Underwater Acoustic Target Tracking: A Review / J. Luo, Y. Han, L. Fan // Sensors. 2018. Vol. 18, no. 1. P. 112. DOI: 10.3390/s18010112.
2. Paull L. AUV Navigation and Localization: A Review / L. Paull, S. Saeedi, M. Seto, H. Li // IEEE Journal of Oceanic Engineering. 2014. Vol. 39, no. 1. P. 131–149. DOI: 10.1109/JOE.2013.2278891.
3. Туфанов И. Е., Щербатюк А. Ф. Разработка алгоритмов группового поведения АНПА в задаче обследования локальных неоднородностей морской среды // УБС. 2012. №36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-algoritmov-grupпового-povedeniya-anpa-v-zadache-obsledovaniya-lokalnyh-neodnorodnostey-morskoy-sredy> (дата обращения: 07.04.2026).

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом Н. Н. Семеновым.

УДК 004.42

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХЭТАПНОГО АЛГОРИТМА ЗАГРУЗКИ МЕТАДАННЫХ В МУЛЬТИМЕДИЙНОМ ПЛЕЕРЕ

А. Д. Челноков (студент группы ИКПИ-42, СПбГУТ), chelnokov.ad@sut.ru

В статье рассматривается задача сокращения времени первичной загрузки больших музыкальных коллекций в десктопных аудиоплеерах. Проведен анализ структуры метаданных формата MP3 и влияния их извлечения на скорость построения плейлиста. Предложен двухэтапный алгоритм обработки: мгновенный парсинг имени файла с последующим фоновым чтением ID3v2-тегов в сочетании с LRU-кэшем. Приведены результаты экспериментального сравнения синхронного и предлагаемого подходов на коллекции до 10 000 треков.

Qt, C++, MP3, ID3v2, метаданные, кэширование, производительность

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF A TWO-STAGE METADATA LOADING ALGORITHM FOR A MULTIMEDIA PLAYER

Chelnokov A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article addresses the challenge of reducing the initial loading time for large music collections in desktop audio players. It analyzes the structure of MP3 metadata and the impact of metadata extraction on the speed of playlist generation. A two-stage processing algorithm is proposed: immediate parsing of the filename, followed by background reading of ID3v2 tags, integrated with an LRU (Least Recently Used) cache. The results of an experimental comparison between the synchronous approach and the proposed method, conducted on collections of up to 10,000 tracks, are presented.

Key words: Qt, C++, MP3, ID3v2, metadata, caching, performance

Введение

Современные аудиокolleкции пользователей могут с легкостью хранить десятки тысяч файлов. При классическом синхронном подходе время загрузки линейно зависит от количества файлов: необходимо последовательно открыть каждый файл, инициализировать медиадекодер и прочитать теги для 10 000 треков, что занимает около 360 с, а потребление оперативной памяти превышает 1,2 ГБ из-за одновременного хранения всех обложек и полных метаданных в RAM.

Цель работы – разработать и экспериментально обосновать архитектуру медиаплеера с ускоренной загрузкой треков.

Задача исследования – ускорить загрузку плейлиста и снизить потребление оперативной памяти при сохранении полноты отображаемых метаданных.

Структура аудиофайла MP3 и метаданные

Формат MP3 состоит из последовательности фреймов с 4-байтовым заголовком и сжатыми аудиоданными [1]. Между фреймами или в начале/конце файла размещаются метаданные – текстовая информация об исполнителе, названии, альбоме, годе, а также встроенные обложки. Последовательная обработка тысяч файлов требует значительных дисковых операций, что приводит к неприемлемым задержкам при запуске [2].

Форматы тегов ID3

Наиболее распространенные форматы метаданных – ID3v1 и ID3v2.

ID3v1 – фиксированный блок в 128 байт в конце файла; содержит 6 полей длиной до 30 байт. Преимущество – постоянный размер, недостаток – отсутствие Unicode и обложек [3].

ID3v2 располагается в начале файла, имеет переменную длину до 256 МБ. Заголовок занимает 10 байт, далее следуют фреймы (TIT2, TPE1, TALB, APIC и др.) с указанием размера и кодировки (UTF-8/UTF-16). Полное чтение всех фреймов для больших коллекций требует значительного времени ЦПУ и дисковых операций [2].

Сравнение двух версия ID3-тегов приведено в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение форматов ID3v1 и ID3v2

Характеристика	ID3v1	ID3v2
Расположение	Конец файла	Начало файла
Размер	Фиксированный 128 байт	Переменный, до 256 МБ
Кодировка	ISO-8859-1	UTF-8, UTF-16
Поля	Фиксированный набор из 6 полей	Произвольное количество фреймов
Изображения	Нет	Встроенные APIC-фреймы

Предлагаемый алгоритм извлечения метаданных

Для преодоления конфликта между скоростью отклика интерфейса и полнотой метаданных предложен двухэтапный алгоритм.

Этап 1. Быстрый парсинг имени файла. При сканировании директории приложение анализирует строку имени файла по шаблону «Исполнитель – Название.mp3», извлекая поля artist и title; остальные поля заполняются значениями по умолчанию. Сложность операции $O(1)$ на файл, время обработки не превышает 1 мс. Пользователь получает работоспособный плейлист мгновенно.

Этап 2. Фоновое чтение ID3v2. Читаются ID3v2-теги. Для ускорения файл открывается только на чтение первых 4096 байт, что покрывает основные текстовые фреймы (TIT2, TPE1, TALB, TCON, TYER) в 95 % случаев, не затрагивая массивные APIC-фреймы в середине тега [2]. Таблица обновляется по мере поступления данных; при отсутствии тегов сохраняются значения первого этапа.

Кэширование метаданных для ускорения загрузки

Для исключения повторного чтения файлов при перезапуске реализован потокобезопасный LRU-кэш ($QHash < QString, TrackMetadata >$ с защитой $QMutex$). Параметры: максимум 1000 записей, TTL – 3600 с. При превышении лимита вытесняются устаревшие и наименее используемые записи. Это ограничивает потребление RAM уровнем 50–185 МБ вместо полной загрузки всех тегов и обложек.

Разработка прототипа приложения

Прототип реализован на языке C++17 с использованием фреймворка Qt 6.5. Приложение построено по модульному принципу.

Общая архитектура приложения представлена на рисунке 1.

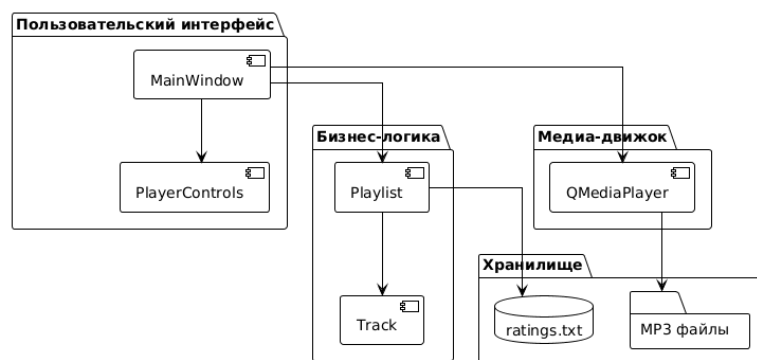


Рис. 1. Архитектура аудиоплеера «AlexMusic»

Основные компоненты архитектуры приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Основные компоненты архитектуры

Компонент	Назначение	Ключевые методы
MainWindow	Координация компонентов	scanFolder(), playCurrentTrack()
Playlist	Управление очередью	next(), prev(), setShuffle()
Track	Хранение метаданных	loadMetadata(), getCoverImage()
FastMetadataReader	Быстрое чтение и кэширование	getMetadata(), clearCache()
TrackValidator	Проверка валидности MP3	validateTrack(), getDuration()

Многопоточность. В прототипе реализован класс ScannerThread, наследованный от QThread, для сканирования файловой системы без блокировки GUI. Однако основной цикл фоновой загрузки метаданных в текущей версии выполняется в основном потоке с явной передачей управления обработчику событий (QCoreApplication::processEvents) через диалог прогресса. Такой подход не требует сложной синхронизации доступа к модели плейлиста, но сохраняет отзывчивость интерфейса за счет инкрементального обновления.

Обработка поврежденных файлов выполняется синхронно: если TrackValidator фиксирует длительность менее 1 с или нулевой размер файла, трек помечается как дефектный и может быть автоматически пропущен (настройка «Всегда пропускать поврежденные треки»).

Условия проведения эксперимента

Эксперименты проводились на ноутбуке ASUS Zenbook 15 (Intel Core i7-10510U, 4 ядра / 8 потоков, 16 ГБ LPDDR3, NVMe SSD 1024 ГБ, ОС Windows 11 Pro). Среда разработки: Qt 6.5.0, MinGW 11.2.0 (64-bit). Для тестирования были сформированы четыре коллекции MP3-файлов, представленных в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3. Характеристики тестовых коллекций

Обозначение	Количество файлов	Доля с ID3v2	Доля поврежденных
A (малая)	500	100%	0%
B (средняя)	1000	70%	5%
C (большая)	2000	50%	10%
D (экстремальная)	10 000	65%	8%

Сравнивались два подхода: базовый (синхронный), при котором происходит последовательное открытие каждого файла через QMediaPlayer с синхронным извлечением метаданных и блокировкой пользовательского интерфейса, и предлагаемый (двухэтапный), где первый этап представляет собой парсинг имени файла с мгновенным отображением, а второй – фоновое чтение ID3v2-тегов с кэшированием в LRU-кэш.

Измерялись следующие временные параметры:

- $T_{display}$ – время от выбора папки до первого отображения полного списка треков после парсинга имен файлов (результат этапа 1);
- T_{full} – время до завершения загрузки всех метаданных (всех ID3v2-тегов) и обновления интерфейса (всех строк таблицы) (этап 1 + этап 2).

Память измерялась через монитор процессов ОС после стабилизации загрузки.

Результаты эксперимента и их интерпретация

Результаты сравнительного тестирования представлены в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4. Сравнительная производительность подходов

Коллекция	Подход	$T_{display}$, с	T_{full} , с	RAM, МБ
A (500)	Базовый	15,2	15,2	94,0
A (500)	Предлагаемый	0,9	1,6	47,0
B (1000)	Базовый	34,8	34,8	156,0
B (1000)	Предлагаемый	1,1	2,8	71,0
C (2 000)	Базовый	71,3	71,3	287,0
C (2 000)	Предлагаемый	1,4	4,5	112,0
D (10 000)	Базовый*	~360	~360	~1 200
D (10 000)	Предлагаемый	5,2	18,5	185,0

Значение ~360 с для базового подхода на коллекции D получено экстраполяцией по линейной зависимости, подтвержденной измерениями на коллекциях A–C.

В базовом подходе $T_{display}$ и T_{full} совпадают, поскольку интерфейс блокируется до окончания полного чтения метаданных. В предлагаемом подходе $T_{display}$ сокращается на 85–98 %: для коллекции D время первичного отклика снижено с ~360 с до 5,2 с (ускорение в 69 раз). Полное время

загрузки метаданных T_{full} составляет 18,5 с. Потребление RAM ограничено 185 МБ против ~1,2 ГБ в базовом подходе.

Визуализация зависимости времени загрузки от количества треков представлена на рисунке 2.

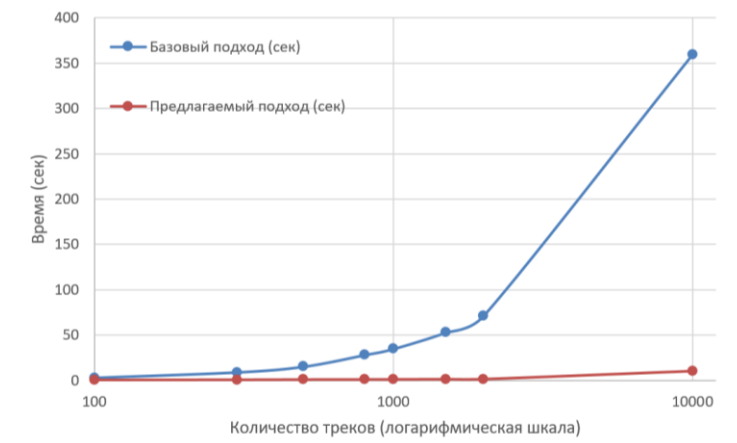


Рис. 2. Зависимость времени загрузки от количества треков

Выводы и перспективы на будущее

Предложенная двухэтапная стратегия загрузки метаданных позволяет сократить время первичного отклика интерфейса на порядок при работе с большими коллекциями MP3. LRU-кэширование обеспечивает предсказуемое потребление оперативной памяти, не зависящее от общего числа файлов в библиотеке. Реализованный прототип демонстрирует устойчивость к поврежденным файлам (до 10 % дефектных треков).

Перспективы дальнейшей работы

Дальнейшее развитие проекта предполагает реализацию выравнивания громкости (ReplayGain) для автоматической нормализации уровня звука, расширенный парсинг с отображением битрейта, частоты дискретизации и других технических метаданных, автоматическое обнаружение дубликатов по акустическому отпечатку, поддержку потокового воспроизведения через HTTP и UPnP для прослушивания музыки с NAS или облачных сервисов, а также адаптацию для Linux и macOS.

Список используемых источников

1. ID3.org. ID3v2.4.0 Frames. URL: <https://id3.org/id3v2.4.0-frames> (дата обращения: 01.04.2026).
2. Внутри MP3. А как оно все устроено? // Habr.com. URL: <https://habr.com/ru/articles/103635/> (дата обращения: 01.04.2026).
3. Шлее М. Qt 6. Профессиональное программирование на C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2022. 512 с.
4. Прохоренок Н. А. Qt 6. Разработка оконных приложений на C++. – СПб.: БХВ-Петербург, 2022. 512 с.
5. Документация Qt6. URL: <https://doc.qt.io/qt-6/> (дата обращения: 01.04.2026).
6. Stroustrup, B. The C++ Programming Language. 4th ed. Addison-Wesley, 2013.

Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем кафедры ИТПИ СПбГУТ О. Б. Петровой.

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 004.425.2

ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ КРИПТОСИСТЕМЫ NTRU ДЛЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И УЧЕБНЫХ ЦЕЛЕЙ

Е. С. Алешина (студент группы МЗС-2512, СПбГУТ), aleshina.es@sut.ru

Рассматривается программная реализация постквантовой криптосистемы NTRU с расширенным функционалом для конфиденциальных вычислений на основе гомоморфных свойств системы и оценки шума при вычислениях. Разработанный программный комплекс на языке Python имеет графический интерфейс, модули генерации ключей с настраиваемыми параметрами, процедуры шифрования и дешифрования, а также инструменты визуализации решеток. Программа позволяет изучать процессы образования шума в зависимости от параметров системы.

NTRU, постквантовая криптография, решетки, гомоморфное шифрование, модель, Python

A SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE NTRU CRYPTOSYSTEM FOR RESEARCH AND EDUCATIONAL PURPOSES

Aleshina E.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

A software implementation of the post-quantum NTRU cryptosystem with extended functionality for confidential computing based on the homomorphic properties of the system and noise estimation during computations is considered. The developed software package in Python features a graphical user interface, key generation modules with configurable parameters, encryption and decryption procedures, as well as lattice visualization tools. The program enables the study of noise formation processes depending on system parameters.

Key words: NTRU, post-quantum cryptography, lattices, homomorphic encryption, model, Python

Создание полноценных квантовых вычислительных систем ставит под угрозу безопасность широко применяемых асимметричных схем RSA

и ЕСС, поскольку алгоритм Шора позволяет за полиномиальное время решать задачи целочисленной факторизации и дискретного логарифмирования. Это стимулирует переход к алгоритмам, сохраняющим стойкость в условиях квантовых угроз [1]. В числе наиболее проработанных решений выделяется криптосистема NTRU, опирающаяся на вычислительную сложность задач поиска кратчайшего (SVP) и ближайшего вектора (CVP) в многомерных решетках. Трудность их решения в высоких размерностях обеспечивает защиту схемы как от классических, так и от квантовых атак, благодаря чему NTRU включена в перечень финалистов процесса стандартизации постквантовой криптографии [2].

Разработка программных моделей данной системы преследует две практические цели: обеспечить обучающихся и разработчиков рабочими инструментами для освоения новых криптографических стандартов и создать экспериментальную площадку для эмпирической проверки параметров схемы. Отдельного внимания заслуживает использование NTRU в протоколах гомоморфного шифрования, позволяющих выполнять арифметические операции над зашифрованными данными без их расшифровки. Главное препятствие здесь заключается в накоплении ошибки (шума) при каждой последовательной операции над шифротекстом. При превышении допустимого уровня шума корректное восстановление исходного сообщения становится невозможным. Экспериментальное моделирование позволяет количественно отследить динамику роста шума, подобрать оптимальные размеры решетки и модули, а также четко определить границы применимости гомоморфного режима NTRU в реальных задачах без избыточного усложнения вычислительного протокола.

Математический аппарат NTRU строится на кольце многочленов [2]:

$$\mathbb{R} = \mathbb{Z}[X]/(X^N - 1), \quad (1)$$

где все вычисления выполняются над целыми коэффициентами с последующим приведением по двум простым модулям малому p и большому q .

Генерация ключевой пары начинается с выбора двух многочленов $f(x)$ и $g(x)$, коэффициенты которых случайным образом берутся из ограниченного множества $\{-1, 0, 1\}$ [3]. Полином $f(x)$ должен быть обратим по модулям p и q . Затем вычисляется открытый ключ $h(x)$ как свертка [4]:

$$h(x) \equiv p * f_q(x) * g(x) \bmod q, \quad (2)$$

где $f_q(x)$ — обратный полином к $f(x)$ по модулю q . Закрытый ключ — пара полиномов (f, g) с известными обратными $f_p^{-1}(x)$ и $f_q^{-1}(x)$.

При шифровании открытый текст кодируется многочленом $m(x)$ с коэффициентами по модулю p в шифротекст $e(x)$. Отправитель генерирует случайный маскирующий многочлен $r(x)$ с малыми коэффициентами и вычисляет шифротекст [2]:

$$e(x) \equiv r(x) * h(x) + m(x) \bmod q. \quad (3)$$

Дешифрование опирается на секретный ключ $f(x)$. На первом этапе вычисляется промежуточный результат [2]:

$$a(x) \equiv f(x) * e(x) \bmod q, \quad (4)$$

Полученные коэффициенты $a(x)$ приводятся к симметричному интервалу $[-q/2, q/2)$. Такая центровка критична: без нее остаточные компоненты по модулю q исказят результат последующего приведения по модулю p . После нормализации сообщение восстанавливается умножением на обратный элемент по формуле [4]:

$$m'(x) \equiv fp(x) * a(x) \bmod p. \quad (5)$$

Корректность восстановления гарантируется подбором параметров схемы, обеспечивающим, чтобы накопленный в процессе умножений «шум» не превышал порога $q/2$.

Помимо криптостойкости, NTRU обладает свойством ограниченной аддитивной гомоморфности. Это позволяет выполнять сложение шифротекстов без обращения к секретному ключу (6)–(7). Если для сообщений $m_1(x)$ и $m_2(x)$ сгенерированы шифротексты [2]:

$$e_1(x) = r_1(x) * h(x) + m_1(x) \text{ и } e_2(x) = r_2(x) * h(x) + m_2(x), \quad (6)$$

$$D(e_1(x) + e_2(x)) = D((r_1(x) + r_2(x) * h(x) + (m_1(x) + m_2(x)) \bmod q) = m_1(x) + m_2(x), \quad (7)$$

где $D(\cdot)$ обозначает процедуру дешифрования. Линейность операции сохраняется до тех пор, пока суммарный шум от маскирующих многочленов $r_1(x)$ и $r_2(x)$ не нарушит условие корректного центрирования коэффициентов.

Для экспериментальной проверки описанных математических свойств, а также для исследования влияния параметров системы на корректность гомоморфных операций, была разработана программная модель криптосистемы NTRU, упрощенная UML-диаграмма главного класса представлена на рис. 1. Модель реализована на языке Python 3.10 объемом 4300 строк

кода с использованием библиотек SymPy для полиномиальных операций и PyQt6 для графического интерфейса. Программа поддерживает произвольные параметры (N, p, q) , включает модули генерации ключей, шифрования-дешифрования, демонстрацию гомоморфных свойств, имеет возможность анализа аддитивной гомоморфности, а также демонстрацию атаки с использованием алгоритма LLL [1] и детальное логирование.

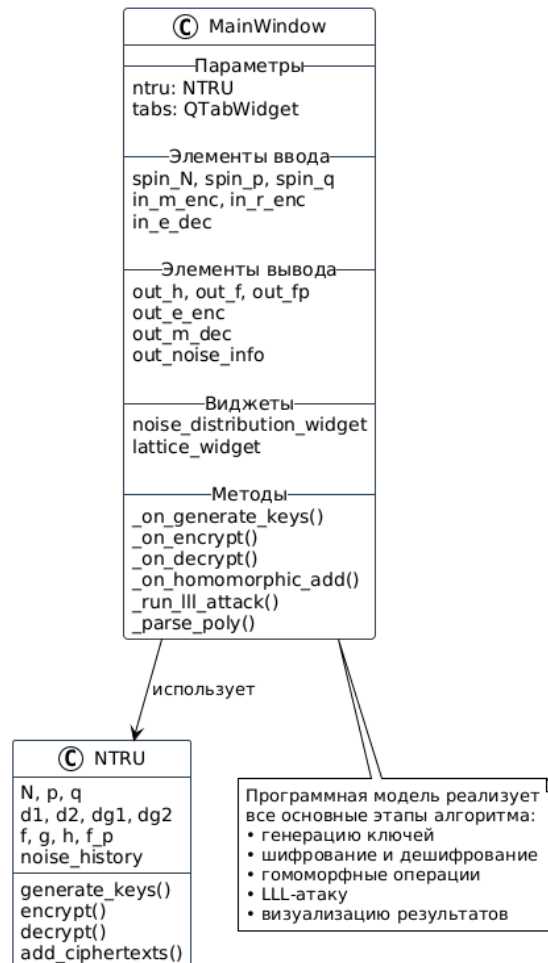


Рис. 1. Упрощенная UML-диаграмма главного класса

Архитектура программы базируется на классе NTRU, инкапсулирующего все основные операции криптосистемы. Класс содержит поля для хранения параметров системы, секретных и открытых ключей [5], а также данных о шуме для анализа гомоморфных операций. Метод `generate_keys` реализует генерацию ключей с использованием функции `generate_ternary_poly` для создания троичных полиномов с заданным количеством единиц и минус единиц. Инверсия полиномов по модулям p и q выполняется с помощью алгоритма расширенного Евклида, реализованного в функции `_invert_poly_zq` с использованием библиотеки SymPy для символьных вычислений.

Процедуры шифрования и дешифрования реализованы в методах encrypt и decrypt класса NTRU, UML-диаграмма представлена на рисунке 2.

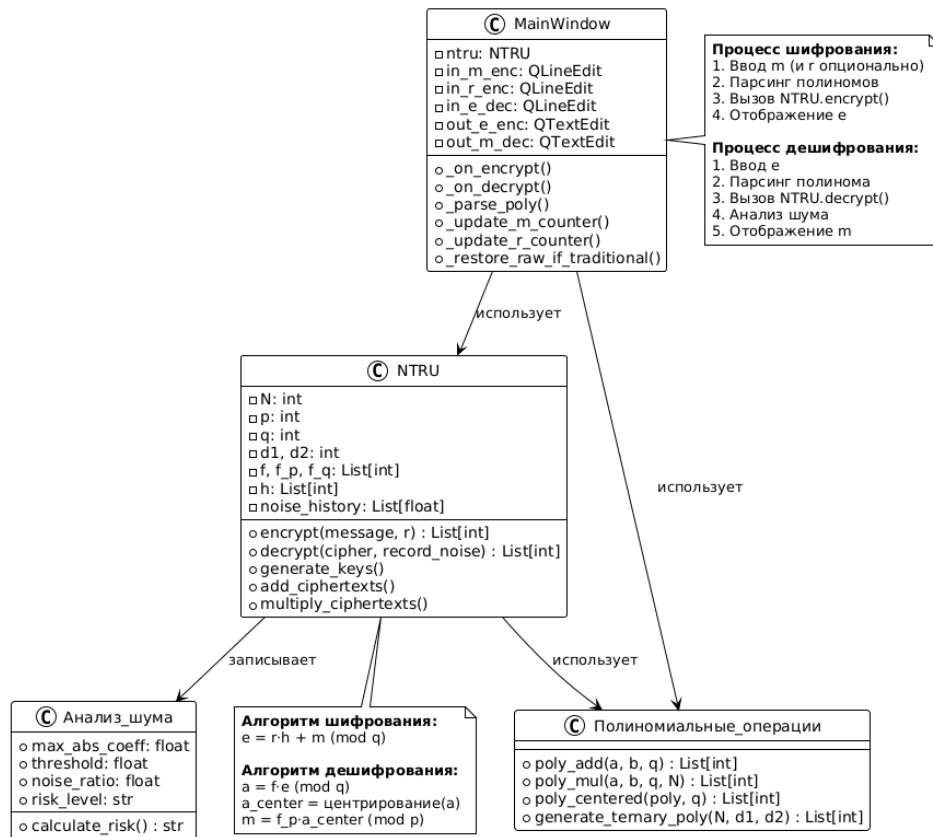


Рис. 2. Упрощенная UML-диаграмма шифрования и дешифрования

Метод `encrypt` принимает сообщение $m(x)$ и опциональный случайный полином $r(x)$, который генерируется автоматически, если не предоставлен пользователем. Шифрование выполняется путем вычисления свертки $r(x) \cdot h(x)$ по модулю q с последующим добавлением сообщения $m(x)$. Метод `decrypt` реализует полный цикл дешифрования с промежуточным центрированием коэффициентов и записью метрик шума в историю. Для каждой операции дешифрования вычисляется максимальный абсолютный коэффициент в полиноме $a(x)$ после центрирования, который сравнивается с порогом $q/2$. Отношение максимального коэффициента к порогу, выраженное в процентах, сохраняется в списке `noise_history` для последующего анализа, а абсолютное значение коэффициента – в списке `noise_distribution` для построения гистограмм распределения. Такая детализация позволяет отслеживать накопление шума при последовательных гомоморфных операциях и прогнозировать момент, когда дальнейшие вычисления станут невозможными из-за превышения порога [4].

Для исследования гомоморфных свойств и оценки уровня шума при вычислениях в программу включен метод `add_ciphertexts` выполняет сложение двух шифротекстов покомпонентным сложением коэффициентов по модулю q с автоматической записью метрик шума в отдельные списки `add_noise_history` и `add_noise_distribution`. Это позволяет независимо анализировать рост шума при сложении. На рис. 3 представлен графический интерфейс программы для исследования влияния параметров d_1 и d_2 на уровень шума. Программа автоматически строит графики эмпирического среднего, 95-го перцентиля и максимального значения шума, а также его теоретической оценки по формуле (8),

$$\text{шум} \approx p \cdot \sqrt{d_1 + d_2} \cdot \sqrt{d_{g_1} + d_{g_2}} \cdot \frac{\|f_q\|_2}{\sqrt{N}}, \quad (8)$$

что позволяет наглядно оценить соответствие экспериментальных и теоретических значений шума и определить диапазоны параметров системы, при которых корректно выполняются гомоморфные операции. Метод `multiply_ciphertexts` реализует умножение шифротекстов в кольце полиномов (1) путем вычисления циклической свертки коэффициентов. Экспериментально подтверждено, что при гомоморфном сложении шум растет линейно с увеличением количества операций, что согласуется с теоретическими оценками для схем на основе решеток [2]. Это свойство делает сложение предпочтительной операцией для построения цепочек вычислений над зашифрованными данными в рамках базовой схемы NTRU.

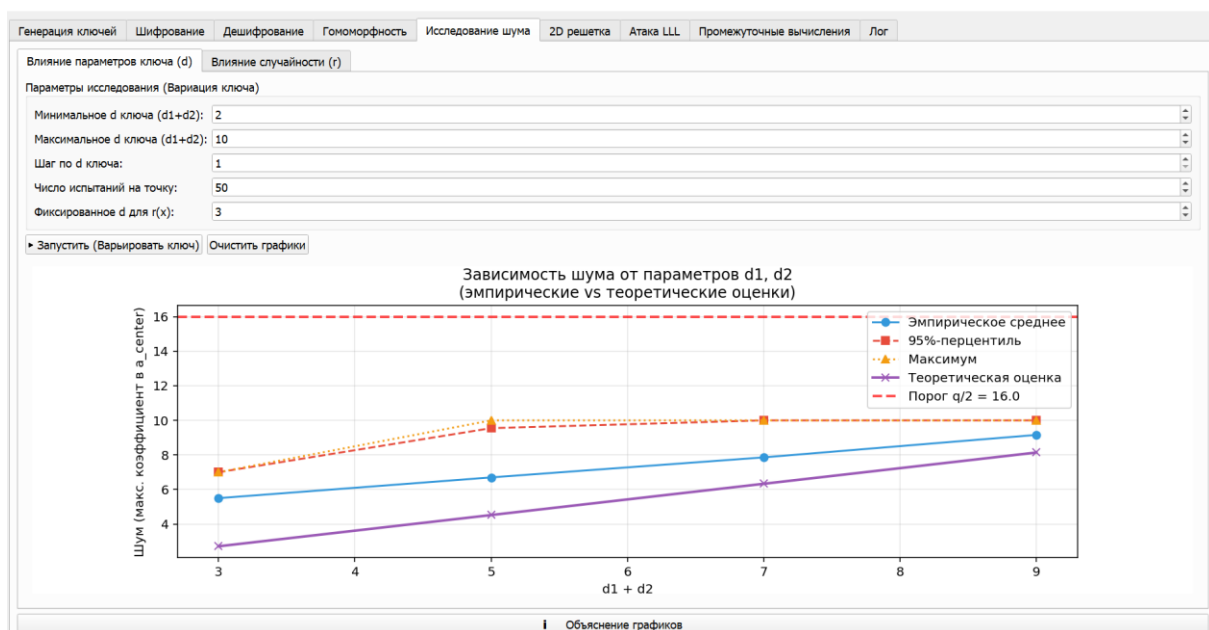


Рис. 3. Результат исследования шума от параметров $d_1 + d_2$

Разработанная модель была протестирована на различных наборах параметров для учебных целей, система корректно выполняет шифрование и расшифрование для всех протестированных значений, результаты дешифрования полностью совпадают с исходными сообщениями при условии соблюдения порога $q/2$. Гомоморфное сложение реализовано как покомпонентное сложение (9) шифротекстов по модулю q :

$$esum[i] = (e1[i] + e2[i]) \bmod q, i = 0, \dots, N - 1. \quad (9)$$

При последовательном выполнении операций сложения наблюдается линейный рост шума, что подтверждается измерением максимального коэффициента после каждого сложения. В процессе экспериментов уровень шума фиксировался относительно порога $q/2$ в процентном соотношении. Полученные данные выводятся на графиках: по ним пользователь может на практике подобрать максимально допустимую глубину вычислений для конкретного набора параметров (N, q, d_1, d_2) . Гомоморфное умножение наращивает шум значительно быстрее сложения, что серьезно ограничивает его применимость.

Проверка устойчивости методом LLL-редукции показала, что секретные ключи успешно восстанавливаются лишь при N не более 20 и небольших значениях d_1, d_2 . Это лишний раз доказывает: для реальной безопасности параметры нужно выбирать достаточно большими. Когда N достигает 50 и выше, время выполнения редукции LLL резко увеличивается, а шансы на успех падают – что полностью согласуется с известными теоретическими оценками сложности решеточных задач [1, 6].

Разработанная программа помогает не только разобраться в математике NTRU, но и дает практические навыки настройки системы, поэтому ее удобно использовать в лабораторном практикуме и в исследовательских целях. В будущем планируется сделать веб-версию для дистанционного обучения и написать скрипты для автоматического перебора параметров NTRU под разные требования к безопасности.

Список использованных источников

1. Micciancio D., Regev O. Lattice-based Cryptography // Post-Quantum Cryptography. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. PP. 147-191. DOI: 10.1007/978-3-540-88702-7_5.
2. Hoffstein J., Pipher J., Silverman J. NTRU: A ring-based public key cryptosystem // Algorithmic Number Theory: Proceedings of the Third International Symposium (ANTS-III). Berlin: Springer, 1998. PP. 267-288. DOI: 10.1007/BFb0054868.

3. Bernstein D. J., Lange T., Schwabe P. NTRU Prime: Reducing attack surface at low cost // Post-Quantum Cryptography: PQCrypto 2017, Lecture Notes in Computer Science. Vol. 10346. Cham: Springer, 2017. PP. 3-24.
4. NTRU Cryptosystems. Algorithm Specifications and Supporting Documentation. 2019.
5. IEEE Standard 1363.1-2008. IEEE Standard Specification for Public-Key Cryptographic Techniques Based on Hard Problems over Lattices. 2008.
6. Wang A., Xiao D., Yu Y., Li Z. Lattice-based cryptosystems in standardisation processes: A survey // IET Information Security. 2022. Vol. 16. N 3. PP. 245-260.

Статья представлена научным руководителем, профессором кафедры ЗСС СПбГУТ, доктором технических наук, профессором В. А. Яковлевым.

УДК 004.056

АНАЛИЗ УГРОЗ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ КАК ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

С. О. Антипина (студент группы МЗС-2512, СПбГУТ), antipina.so@sut.ru

И. В. Гололобов (студент группы МЗС-2512, СПбГУТ), gololobov.iv@sut.ru

И. В. Карачев (студент группы МЗС-2512, СПбГУТ), karachev.iv@sut.ru

А. Ю. Строило (студент группы МЗС-2512, СПбГУТ), stroilo.au@sut.ru

Статья посвящена анализу угроз, актуальных для автоматизированных систем управления технологическими процессами, функционирующих в составе объектов критической информационной инфраструктуры. Рассматриваются особенности данных систем, влияющие на их уязвимость, а также основные виды угроз и сценарии их реализации. Особое внимание уделено последствиям компьютерных инцидентов, включая социальные, экономические и организационные аспекты. Обоснована необходимость комплексного подхода к обеспечению информационной безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами с учетом их критической значимости.

критическая информационная инфраструктура, АСУ ТП, информационная безопасность, угрозы, модель нарушителя, технологические процессы, киберинциденты

THREAT ANALYSIS FOR AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS AS COMPONENTS OF CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE

Antipina S., Gololobov I., Karachev I., Stroilo A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article analyzes threats relevant to automated process control systems (APCS) operating within critical information infrastructure. It examines the specific characteristics of these systems that contribute to their vulnerability, as well as the primary types of threats and scenarios for their realization. Particular attention is paid to the consequences of computer-related incidents, including their social, economic, and organizational aspects. The study substantiates the need for a comprehensive approach to ensuring the information security of automated process control systems, given their critical importance.

Key words: critical information infrastructure, automated process control systems (APCS), information security, threats, threat actor model, technological processes, cyber incidents

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) занимают ключевое место в обеспечении функционирования современных объектов промышленности, энергетики, транспорта и социальной сферы. С их помощью осуществляется контроль и управление технологическими процессами, от стабильности и корректности которых зависит безопасность эксплуатации объектов и, в ряде случаев, жизнь и здоровье людей. В связи с этим такие системы все чаще рассматриваются как объекты критической информационной инфраструктуры [1].

Отличительной особенностью автоматизированных систем управления технологическими процессами является их тесная интеграция с физическими процессами. В отличие от классических информационных систем, воздействие на АСУ ТП может приводить не только к нарушению обработки информации, но и к непосредственному изменению параметров технологического процесса. Это определяет повышенный уровень риска, связанного с возможными компьютерными инцидентами.

Дополнительным фактором, усложняющим обеспечение безопасности, является длительный жизненный цикл оборудования, используемого в составе АСУ ТП. Во многих случаях применяются устаревшие программные и аппаратные решения, не рассчитанные на современные угрозы информационной безопасности [2]. Кроме того, такие системы часто проектировались с приоритетом надежности и непрерывности работы, а не защищенности от внешнего воздействия.

Существенное значение имеет и архитектура АСУ ТП, предполагающая взаимодействие большого количества компонентов, включая датчики, контроллеры, исполнительные механизмы, серверы и автоматизированные рабочие места операторов. Наличие сетевого взаимодействия между этими компонентами, а также возможная интеграция с корпоративными информационными системами создают дополнительные точки потенциального воздействия.

Обобщенная архитектура автоматизированной системы управления технологическим процессом представлена на рисунке 1. Система включает уровень управления, представленный автоматизированными рабочими местами операторов и сервером управления, уровень контроля, реализованный на базе программируемых логических контроллеров, а также полевой уровень, включающий датчики и исполнительные механизмы. Взаимодействие между уровнями осуществляется посредством сетевой инфраструктуры, что обеспечивает сбор данных и управление технологическим процессом.



Рис. 1. Обобщенная архитектура автоматизированной системы управления технологическим процессом

Угрозы, актуальные для автоматизированных систем управления технологическими процессами, можно условно разделить на несколько групп [3]. К первой группе относятся технические угрозы, связанные с отказами оборудования и программного обеспечения, сбоями в работе сетевой инфраструктуры, а также нарушением электропитания. Несмотря на их непреднамеренный характер, такие угрозы могут приводить к серьезным последствиям, включая остановку технологических процессов (рис. 2).



Рис. 2. Основные угрозы для автоматизированных систем управления технологическими процессами

Ко второй группе относятся угрозы, обусловленные ошибками персонала и нарушением регламентов эксплуатации. Неправильная настройка оборудования, некорректные действия операторов или недостаточная квалификация сотрудников могут привести к искажению параметров процесса и возникновению аварийных ситуаций.

Наиболее опасна с точки зрения целенаправленности воздействия третья группа – преднамеренные атаки. Это несанкционированный доступ к системе управления, внедрение вредоносного программного обеспечения, целенаправленное изменение технологических параметров. В отличие от технических сбоев или ошибок персонала, такие действия спланированы под конкретный объект и конкретную цель: остановку производства, дестабилизацию работы, нанесение экономического или физического ущерба.

Угрозы реализуются по разным сценариям, каждый из которых имеет свои особенности. Один из наиболее типичных – аппаратный отказ или программный сбой на уровне системы управления. Операторы теряют возможность отслеживать параметры процесса и вмешиваться в его ход. Система либо переходит в аварийный режим с автоматическим отключением, либо продолжает работу без актуальных данных, что нередко опаснее полной остановки.

Отдельного рассмотрения заслуживает сценарий несанкционированного изменения параметров процесса. Получив доступ к серверу управления или контроллеру, злоумышленник способен изменить установленные значения давления, температуры, расхода или других регулируемых величин. При этом на мониторах операторов какое-то время может отображаться норма, тогда как реальное оборудование уже работает в штатном режиме до тех пор, пока ситуация не выйдет из-под контроля.

Нарушение сетевого взаимодействия – сценарий, который нередко недооценивается. При потере связи между контроллерами и сервером управления операторы лишаются актуальной телеметрии: показания датчиков перестают обновляться, команды не доходят до исполнительных механизмов. В итоге персонал работает с устаревшими данными, что в условиях активного технологического процесса создает прямую опасность.

Достаточно распространенный сценарий – внедрение вредоносного программного обеспечения. Заражение может коснуться как рабочих станций операторов, так и серверов управления. Последствия варьируются от блокировки рабочих мест до скрытого перехвата управления оборудованием. Особую опасность представляет так называемое «тихое» заражение:

вредоносный код длительное время не проявляет видимой активности, накапливая данные о системе или ожидая команды на выполнение деструктивных действий.

Искажение данных с датчиков – сценарий, при котором система получает ложную картину о состоянии процесса. При компрометации или намеренной подмене показаний контроллер продолжает работу в штатном режиме, опираясь на данные, которые не отражают реальность. Управленческие решения, принятые на основе таких данных, заведомо ошибочны, при этом обнаружить подмену без дополнительных средств контроля крайне сложно.

В анализе угроз для АСУ ТП принято выделять два типа нарушителей [4]. Внешний нарушитель действует из-за периметра сети: у него нет легитимного доступа к системе, поэтому он вынужден искать уязвимости в сетевой инфраструктуре или применять методы социальной инженерии. Внутренний нарушитель – сотрудник или подрядчик, имеющий санкционированный доступ к оборудованию или программному обеспечению. Именно в силу своих легальных полномочий он способен нанести значительно больший ущерб, при этом оставаясь незамеченным значительно дольше.

Наиболее опасен тот нарушитель, который располагает доступом к системе управления на уровне, позволяющем изменять параметры технологического процесса или отключать его отдельные компоненты. Даже единственное такое воздействие способно запустить цепочку событий, ведущую к аварии и реальной угрозе для людей, находящихся на объекте.

Последствия успешных атак на АСУ ТП выходят далеко за рамки технических неполадок. На первое место следует поставить социальные риски: в зависимости от отрасли инцидент может означать аварию на химическом предприятии, перебой в подаче электроэнергии, сбой систем водоснабжения или нарушение работы медицинского оборудования. В каждом из этих случаев под угрозой оказываются жизнь и здоровье людей.

Экономические потери складываются из нескольких составляющих: стоимости простоя оборудования, расходов на восстановление работоспособности системы и возможных штрафных санкций. Организационные последствия – вынужденный переход на ручное управление, проведение аварийных мероприятий, ревизия затронутых технологических цепочек. В совокупности все это оказывает долгосрочное влияние на репутацию объекта и его эксплуатирующей организации.

АСУ ТП как объекты критической информационной инфраструктуры сталкиваются с угрозами разной природы – от технических сбоев до целенаправленных кибератак. При этом последствия инцидентов затрагивают не только информационную, но и физическую сферу, а в ряде случаев – безопасность людей и работу социально значимых объектов. Характерные особенности таких систем: длительный жизненный цикл оборудования, жесткая интеграция с физическими процессами, разнородная и исторически слабозащищенная архитектура. Все это означает, что стандартные подходы к информационной безопасности здесь напрямую неприменимы. Необходим комплексный подход, объединяющий технические меры защиты, регламентные и организационные решения, а также учет специфики конкретной отрасли и технологического процесса.

Список используемых источников

1. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: Федеральный закон Российской Федерации от 26.07.2017 № 187-ФЗ.
2. ГОСТ Р 56939-2016. Защита информации. Обеспечение безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2016.
3. Красов А. В., Шакин Д. Н., Лансере Н. Н., Акимов С. В. Актуальные угрозы безопасности информации в сфере здравоохранения и офтальмологии // Офтальмохирургия. 2022. № S4. С. 92-101. DOI: 10.25276/0235-4160-2022-4S-92-101 EDN: IYQQXV.
4. Хмыров С. С., Котенко И. В., Ушаков И. А. Системный анализ задачи атрибуции нарушителей кибербезопасности и способов компрометации при реализации целевых атак на объекты критической инфраструктуры (ОКИИ) // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2025. № 2. С. 69-78. DOI: 10.46418/2079-8199_2025_2_14 EDN: XFQTKG.

Статья представлена научным руководителем, к. т. н., заведующим кафедрой ЗСС СПбГУТ, доцентом А. В. Красовым.

УДК 004.65

МЕТОДЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ

С. О. Антипина (студент группы МЗС-2512, СПбГУТ), antipina.so@sut.ru

А. О. Манжула (студент группы ИКТБ-47м, СПбГУТ), kamalova.ao@sut.ru

Статья посвящена анализу методов сопоставления устройств на основе идентификационных признаков в информационных системах. Рассматривается проблема выявления соответствия записей об устройствах при отсутствии универсального уникального идентификатора и наличии неполных или противоречивых данных. Проведен обзор основных подходов к сопоставлению, включая детерминированные методы, методы на основе оценки сходства и вероятностные модели. Представлена модель задачи сопоставления с использованием функции сходства, учитывающей значимость отдельных признаков. Установлено, что применение различных методов и их комбинаций позволяет повысить точность сопоставления и обеспечить согласованность данных в системах управления ИТ-активами.

сопоставление устройств, дедупликация данных, идентификационные признаки, качество данных, информационные системы, методы сопоставления, функция сходства

METHODS FOR DEVICE MATCHING BASED ON IDENTIFICATION ATTRIBUTES

Antipina S., Manzhula A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article analyzes methods for matching devices in information systems based on identification attributes. It addresses the challenge of identifying corresponding device records in the absence of a universal unique identifier, particularly when data is incomplete or inconsistent. An overview of primary matching approaches is provided, including deterministic methods, similarity-based techniques, and probabilistic models. A matching model is presented that employs a similarity function, which accounts for the relative importance of individual attributes. It is concluded that the application of various methods—and their combinations—can enhance matching accuracy and ensure data consistency within IT asset management systems.

Key words: device matching, data deduplication, identification attributes, data quality, information systems, matching methods, similarity function

В современных информационных системах одной из ключевых задач является сопоставление записей об устройствах, поступающих из различных источников. Отсутствие универсального уникального идентификатора

приводит к тому, что одно и то же устройство может быть представлено несколькими записями, содержащими частично совпадающие или противоречивые данные [1]. Анализ инфраструктуры усложняется, снижается качество данных и может приводить к ошибкам при принятии решений [2]. В связи с этим задача сопоставления устройств является важным этапом обеспечения целостности и согласованности данных.

Для сопоставления устройств используется набор идентификационных признаков, характеризующих объект. К таким признакам могут относиться, например, серийный номер, полное доменное имя узла (Fully Qualified Domain Name, FQDN), MAC-адреса, IP-адреса и иные атрибуты. В зависимости от степени достоверности и устойчивости к изменениям данные признаки используются с различным уровнем приоритета. Например, серийный номер и MAC-адреса являются более устойчивыми, в то время как IP-адрес может изменяться в процессе эксплуатации устройств. Поэтому их значимость при сопоставлении необходимо учитывать [1].

Перед сопоставлением выполняется предварительная обработка информации. Значения атрибутов могут отличаться по формату представления, содержать лишние пробелы, отличаться регистром символов или иметь неполные значения. В связи с этим данные приводятся к унифицированному виду. Удаляются избыточные символы, выполняется нормализация регистра, а значения идентификационных признаков приводятся к единому формату представления [1]. Дополнительно для сокращения количества сравнений может использоваться ограничение области поиска, например, группировка устройств по организационной структуре. Данный подход позволяет уменьшить вычислительную сложность и снизить вероятность ложных совпадений.

Отдельную сложность при сопоставлении устройств представляет наличие противоречивых или неполных данных. На практике часть признаков может отсутствовать, а информация, поступающая из разных источников, содержать конфликты. В таком случае решение о сопоставлении принимается на основе совокупности доступных признаков и степени доверия к ним. Если надежные идентификаторы отсутствуют, могут использоваться менее устойчивые признаки, однако с меньшей степенью достоверности [1]. Появляется необходимость использования методов сопоставления, позволяющих учитывать качество исходных данных. Обобщенная схема процесса сопоставления устройств представлена на рисунке 1.

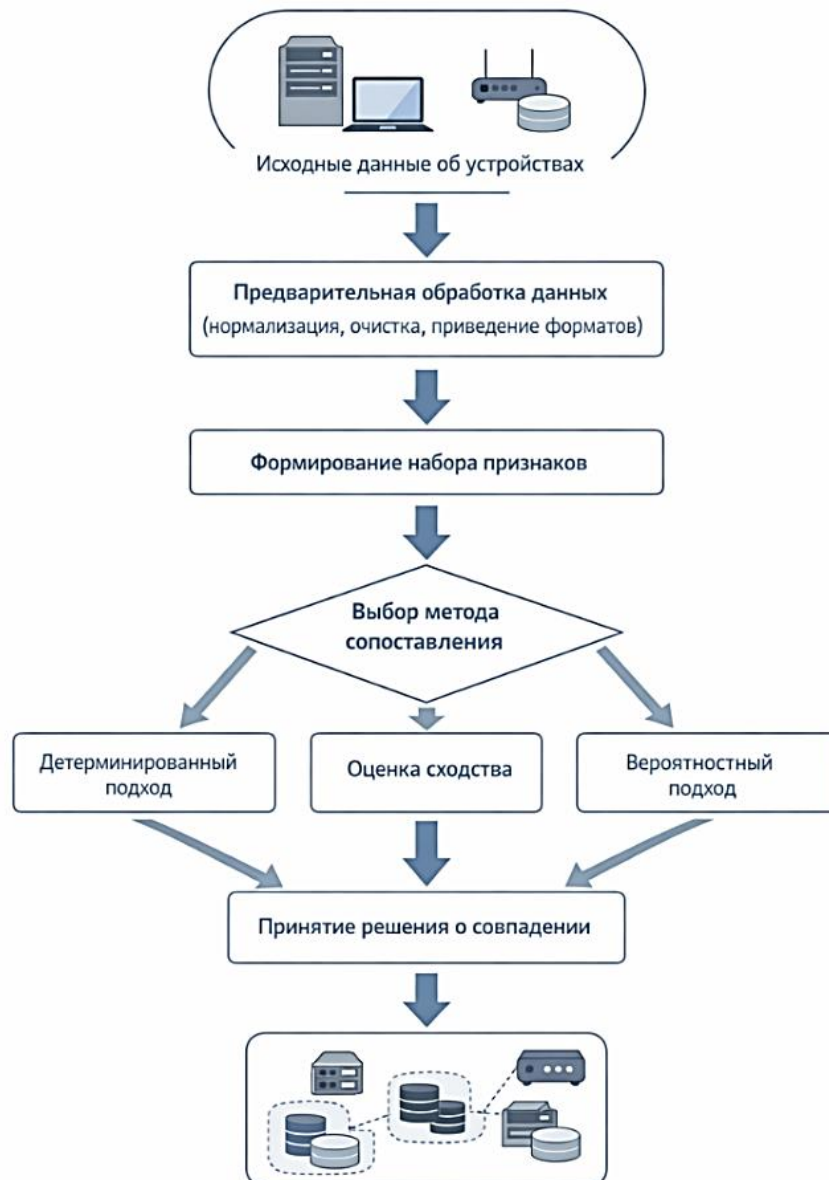


Рис. 1. Обобщенная схема процесса сопоставления устройств

Существующие методы сопоставления устройств можно условно разделить на несколько подходов. Наиболее простым является детерминированный подход, основанный на наборе правил. В этом случае сопоставление выполняется при выполнении заранее заданных условий, например при совпадении одного или нескольких идентификационных признаков. Данный подход отличается простотой реализации и прозрачностью, однако его эффективность зависит от полноты и корректности исходных данных [1]. При отсутствии части признаков или наличии противоречий такие методы могут давать как ложные совпадения, так и пропуски.

Вместо строгих правил они оценивают, насколько близки значения атрибутов двух записей. Для строковых значений применяются метрики, учитывающие редакционное расстояние – минимальное количество символьных операций (вставок, удалений, замен), необходимых для преобразования одной строки в другую [3]. Данный подход позволяет учитывать типичные опечатки и незначительные различия в написании атрибутов. Для сравнения строк с учетом транспозиций символов применяются расширенные метрики, например метрика Джаро-Винклера, которая особенно эффективна при сравнении коротких идентификаторов. Для признаков, хранящих несколько значений (например, список IP-адресов), используется оценка доли пересечения множеств. Такой подход устойчив к незначительным ошибкам в данных, однако требует настройки: необходимо выбрать пороговое значение сходства и определить, как взвешивать разные признаки.

В обобщенном виде задача сопоставления устройств может быть представлена в виде функции оценки сходства между двумя объектами. Пусть a и b – сравниваемые устройства, а a_i и b_i – значения их идентификационных признаков. Тогда степень сходства может быть определена с помощью формулы 1, где $sim_i(a_i, b_i)$ – функции сходства i -ого признака, принимающая значения в диапазоне от 0 до 1. 0 соответствует отсутствию сходства, а 1 – полному совпадению. ω_i – вес, отражающий значимость данного признака.

$$Sim(a, b) = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot sim_i(a_i, b_i) \quad (1)$$

Выбор конкретной функции $sim_i(a_i, b_i)$ определяется типом признака. Для строковых значений применяется либо точное сравнение, либо метрика близости написания. Для множественных признаков, таких как списки адресов, используется отношение числа совпадающих элементов к общему. Итоговое значение сравнивается с заданным порогом: если оно его превышает, записи признаются принадлежащими одному устройству. Выбор порога – самостоятельная задача настройки: заниженный порог ведет к ложным совпадениям, завышенный – к пропуску реальных дубликатов.

Значения весов выбираются исходя из того, насколько стабильно и однозначно каждый признак характеризует устройство. Серийному номеру, как правило, присваивается наибольший вес, поскольку его значение не меняется при перемещении или переконфигурации устройства. IP-адрес получает меньший вес: он может не совпадать не потому, что это разные устройства, а просто из-за смены подсети. Такая схема взвешивания позволяет

избежать ложных совпадений в ситуациях, когда нестабильный признак случайно оказался одинаковым у разных записей.

Практическая реализация функции сходства требует ряда дополнительных решений. При сравнении имен хостов и доменных имен важно учитывать регистронезависимость и возможные сокращения; для этих случаев хорошо зарекомендовали себя метрики, учитывающие позиции совпадающих символов. MAC-адреса перед сравнением необходимо нормализовать к единому формату. В ряде систем пороговое значение подбирается экспериментально на тестовой выборке с известными результатами; в других применяются разные пороги для разных комбинаций признаков. Оба подхода имеют право на существование, однако второй требует значительно большего объема данных для калибровки.

Кроме детерминированных методов и методов на основе сходства, в ряде систем применяются вероятностные модели сопоставления. Формальная база для них была заложена в работе Феллеги и Сантера, предложивших математическую модель принятия решений о связывании записей на основе соотношения вероятностей совпадения и несовпадения признаков. В отличие от детерминированных методов, такие модели учитывают неопределенность и могут работать с неполными данными. Их практическое применение ограничено рядом факторов: во-первых, для обучения необходима выборка с заранее размеченными совпадениями; во-вторых, обеспечение достоверности исходных данных в том числе с точки зрения информационной безопасности становится необходимым условием корректной работы модели [4]. Еще одна сложность – интерпретируемость: объяснить оператору, почему модель признала две записи одним устройством, значительно труднее, чем в случае детерминированных правил.

На практике чаще всего используются комбинированные подходы, сочетающие детерминированные правила и оценку сходства. Типичная схема выглядит так: сначала применяется набор строгих условий, позволяющих быстро выделить очевидные совпадения – например, записи с одинаковым серийным номером. Для оставшихся записей, где строгих совпадений нет, запускается оценка сходства по совокупности других признаков. Такой двухэтапный подход позволяет одновременно сократить вычислительные затраты и повысить охват: строгие правила отрабатывают быстро, а оценка сходства подбирает случаи, которые иначе оказались бы пропущены.

Каждый из рассмотренных подходов имеет свою область применения. Детерминированные методы хорошо работают при высоком качестве данных и минимальном числе пропущенных значений. Методы на основе сходства более универсальны: они справляются с неполными и частично некорректными данными, но требуют настройки параметров под конкретный набор данных [1]. Вероятностные подходы дают потенциально наилучшую точность, однако предполагают наличие обучающих данных и усложняют сопровождение системы.

Задача сопоставления устройств по идентификационным признакам не имеет универсального решения – выбор метода определяется характеристиками данных и требованиями конкретной системы. Рассмотренные подходы – детерминированные правила, функции сходства с взвешиванием признаков и вероятностные модели – охватывают широкий диапазон сценариев и могут применяться как независимо, так и в комбинации. Использование весовых коэффициентов при оценке сходства позволяет учитывать различную надежность признаков, что особенно важно при работе с реальными данными, которые редко бывают полными и непротиворечивыми. Представленные результаты могут служить основой при проектировании модулей дедупликации в системах управления ИТ-активами.

Список используемых источников

1. Christen P. Data Matching: Concepts and Techniques for Record Linkage, Entity Resolution, and Duplicate Detection. Berlin: Springer, 2012. 274 p. DOI: 10.1007/978-3-642-31164-2.
2. Красов А. В., Крылов А. В. Анализ уязвимостей в протоколах интернета вещей умных городов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2021): сборник научных статей. СПб.: СПбГУТ, 2021. Том 1. С. 541-545. EDN: RJMICV.
3. Levenshtein V. I. Binary Codes Capable of Correcting Deletions, Insertions and Reversals // Soviet Physics Doklady. 1966. Vol. 10. PP. 707-710.
4. Ершова Т. В., Цветков А. Ю. Выбор метода проведения аудита информационной безопасности // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023): Сборник научных статей. XII Международной научно-технической и научно-методической конференции. СПб.: СПбГУТ, 2023. Том 1. С. 480-483. EDN: YMFHWI.

Статья представлена научным руководителем, к. т. н., доцентом кафедры ЗСС СПбГУТ, доцентом И. Е. Пестовым.

УДК 004.056

МНОГОУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ НА ОСНОВЕ МЕЖСЕТЕВОГО ЭКРАНА USERGATE И САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КАРТ КОХОНЕНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В СЕТЯХ 6G

Д. П. Зуев (студент группы МЗС-2511, СПбГУТ), zuev.dp@sut.ru

Рассматривается архитектура многоуровневой системы защиты интернета вещей в сетях 6G, объединяющая межсетевой экран UserGate, систему сбора и агрегации логов Log Analyzer и нейросетевой модуль обнаружения аномалий на основе самоорганизующихся карт Кохонена. Анализируются основные виды задержек, вносимых компонентами системы, и их влияние на скорость реагирования. На примере анализа различных типов DDoS-атак показана эффективность предложенного подхода для выявления ранее неизвестных угроз. Делается вывод о компромиссе между глубиной анализа и временем реакции, что позволяет использовать систему в качестве инструмента проактивной защиты критической инфраструктуры.

интернет вещей, сети 6G, межсетевой экран UserGate, самоорганизующиеся карты Кохонена, обнаружение вторжений, DDoS-атаки

MULTILEVEL ANOMALY DETECTION SYSTEM BASED ON USERGATE FIREWALL AND SELF-ORGANIZING KOHONEN MAPS FOR IOT SECURITY IN 6G NETWORKS

Zuev D.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper considers the architecture of a multilevel security system for the Internet of Things in 6G networks, combining the UserGate firewall, the Log Analyzer log aggregation system, and a neural network anomaly detection module based on self-organizing Kohonen maps. The main types of delays introduced by system components and their impact on response time are analyzed. Using the analysis of various types of DDoS attacks as an example, the effectiveness of the proposed approach for detecting previously unknown threats is demonstrated. A conclusion is drawn about the trade-off between analysis depth and reaction time, which makes it possible to use the system as a proactive protection tool for critical infrastructure.

Key words: Internet of Things, 6G networks, UserGate firewall, self-organizing Kohonen maps, intrusion detection, DDoS attacks

Стремительное развитие технологий интернета вещей (IoT) и переход к сетям нового поколения 6G создают новые вызовы в области кибербезопасности. Ожидается, что сети 6G будут характеризоваться сверхвысокой плотностью подключения устройств, колоссальными объемами трафика и жесткими требованиями к задержкам. Увеличение числа подключенных узлов расширяет уязвимую зону и усложняет мониторинг границ сети. Классические средства защиты, сверяющие трафик с эталонными базами угроз, постепенно теряют результативность. Создатели вредоносного кода регулярно выпускают эксплойты с изменяемой структурой, минуя сигнатурные фильтры [1]. Выявлять такие векторы компрометации помогают системы, анализирующие статистические отклонения в поведении узлов вместо поиска заготовленных шаблонов.

Практическое решение строится на каскадной модели безопасности, где одновременно работают межсетевой экран UserGate, система агрегации событий Log Analyzer и модуль обнаружения вторжений, использующий алгоритм самоорганизующихся карт Кохонена [2]. Синхронизация оперативного реагирования и детального разбора исторических логов особенно ценна для разнородных инфраструктур интернета вещей.

Модель разделена на четыре функциональных яруса. Базовый сегмент формируют конечные узлы интернета вещей, непрерывно обменивающиеся пакетами различного формата. Межсетевой экран UserGate выполняет фильтрацию и маршрутизацию, а также формирует логи каждого сетевого события, передавая их через протокол Syslog в систему сбора Log Analyzer. Этот компонент агрегирует исторические данные, что критически важно при экспоненциальном росте трафика. Четвертый уровень использует алгоритм SOM для анализа подготовленных данных. Нейросеть создает низкоразмерное представление многомерного пространства входных данных: области с высокой плотностью узлов соответствуют нормальному поведению, а аномальные события выделяются как потенциальные угрозы, что позволяет обнаруживать ранее неизвестные атаки без зависимости от сигнатур.

На рис. 1 показан интерфейс модуля обнаружения вторжений на основе самоорганизующихся карт Кохонена, визуализирующий распределение аномалий в пространстве признаков.

Эффективность системы определяется задержками, вносимыми на каждом этапе обработки. Основные виды задержек представлены в таблице 1.

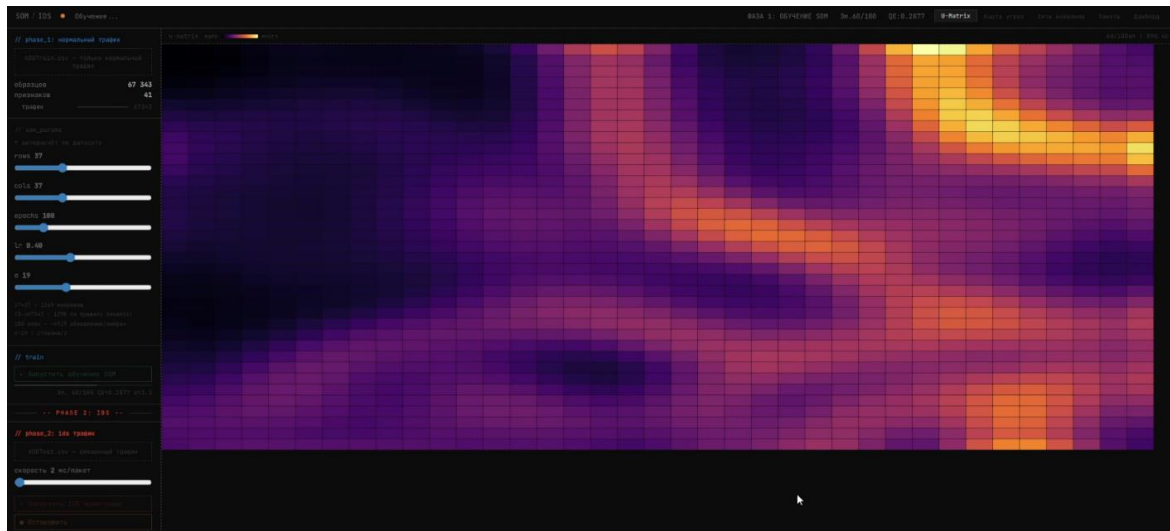


Рис. 1. Интерфейс модуля обнаружения вторжений на основе самоорганизующихся карт Кохонена

ТАБЛИЦА 1. Задержки компонентов архитектуры

Этап	Источник задержки	Факторы влияния
МЭ UserGate	Обработка пакетов и логирование	Загрузка ЦП, загрузка памяти, форматирование и передача логов
Log Analyzer	Сбор и парсинг логов	Частота опроса, объем данных, ресурсы сервера
SOM	Обучение и классификация	Размер обучающей выборки, сложность данных, вычислительные ресурсы

Анализ задержек показывает, что система не предназначена для предотвращения атак в реальном времени, однако сигнал об аномалии позволяет аналитику выявить методы злоумышленника и сформировать новые правила защиты [3].

Практическая апробация подхода проводилась на примере анализа различных типов DDoS-атак на протоколы интернета вещей.

Результаты экспериментов подтверждают, что использование SOM в сочетании с агрегацией логов позволяет выявлять статистические аномалии, характерные для DDoS-атак, даже при отсутствии заранее известных сигнатур. При этом возрастающая нагрузка на межсетевой экран требует оптимизации логирования и выделенных каналов связи.

Таким образом, предложенная архитектура на базе UserGate, Log Analyzer и карт Кохонена демонстрирует высокую эффективность аналитики при осознанном компромиссе со скоростью реакции.

Список используемых источников

1. Bensaouda A., Kalita J. Optimized Detection of Cyber-Attacks on IoT Networks via Hybrid Deep Learning Models [Электронный ресурс]. arXiv preprint. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2502.11470> (дата обращения: 17.02.2025). DOI: 10.1016/j.adhoc.2025.103770 EDN: TSVCRC.

2. Поляничева А. В., Красов А. В. Сравнение методик для построения самоорганизующейся карты нейронной сети для обеспечения целостности средств защиты информации // Неделя науки ИКНХ: материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2025. С. 167-169. EDN: OWNRCF.

3. Красов А. В., Ушаков И. А., Штеренберг С. И. Анализ атак типа отравления данных в сфере услуг телеприсутствия // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2025). XIV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научн. ст. СПб: СПбГУТ, 2025. С. 608-612. EDN: IPSIRL.

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры ЗСС СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом С. И. Штеренберг.

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ ТРАНЗАКЦИЙ В СЕТИ BITCOIN

А. И. Карышев (студент группы ИКБ-22, СПбГУТ), karyshev.ai@sut.ru

В работе исследуется проблема псевдонимности транзакций в сети Bitcoin и недостаточности существующих методов оценки их конфиденциальности. Предложена и обоснована комплексная модель оценки уязвимости транзакций к деанонимизации, включающая шесть метрик: Common Input Ownership, Change Detection, Round Number, CoinJoin Detection, Output Entropy и Anonymity Set. На основе данной модели разработан Privacy Score – интегральный показатель конфиденциальности транзакции. Для апробации модели реализован программный инструмент с визуализацией результатов и графом структуры транзакции.

Bitcoin, UTXO, конфиденциальность транзакций, деанонимизация, блокчейн-анализ, CoinJoin, Privacy Score

DEVELOPMENT OF A TOOL FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF PRIVACY ENHANCEMENT METHODS IN THE BITCOIN NETWORK

Karyshev A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper addresses the problem of pseudonymity in Bitcoin transactions and the limitations of standard privacy methods. A software tool is proposed for quantitative assessment of transaction vulnerability to de-anonymization based on a set of metrics: Common Input Ownership, Change Detection, Round Number, CoinJoin Detection, Output Entropy, and Anonymity Set. Visualization of results and also a transaction graph are implemented

Key words: Bitcoin, UTXO, transaction privacy, de-anonymization, blockchain analysis, CoinJoin, Privacy Score

Сеть Bitcoin является публичным распределенным реестром, в котором каждая транзакция фиксируется открыто и навсегда. Это обеспечивает прозрачность, но одновременно создает условия для деанонимизации пользователей. Несмотря на широко распространенное заблуждение об анонимности Bitcoin, система является псевдонимной: персональные данные в транзакциях отсутствуют, однако граф транзакций полностью доступен для анализа.

Псевдонимность означает, что единственным идентификатором пользователя служит адрес кошелька. При наличии хотя бы одной точки деанонимизации – например, верификации на криптобирже – аналитик может ретроспективно восстановить всю историю связанных адресов [1]. По данным исследований Forensicanvil, 80 % транзакций Bitcoin поддаются отслеживанию, а 95 % криптопреступлений раскрываются именно с помощью блокчейн-анализа [2]. Компании Chainalysis и Elliptic предоставляют соответствующие инструменты правоохранительным органам и финансовым учреждениям по всему миру.

Актуальность работы определяется отсутствием публичных отчетственных моделей, позволяющих количественно оценить уязвимость конкретной транзакции к деанонимизации. Цель работы – обосновать комплексную модель оценки конфиденциальности Bitcoin-транзакций и апробировать ее в виде программного инструмента, вычисляющего показатель Privacy Score, а также визуализирующего структуру транзакции.

Bitcoin использует модель UTXO (Unspent Transaction Output) – неизрасходованных выходов транзакций. Каждый UTXO представляет собой сумму, зафиксированную за конкретным адресом и пригодную для использования в качестве входа в следующей транзакции. Ключевые свойства модели: каждый UTXO может быть потрачен ровно один раз; потраченный UTXO остается в истории блокчейна навсегда; если сумма входов превышает сумму платежа, остаток возвращается отправителю в виде нового UTXO на адрес сдачи [3, 4].

Открытый доступ ко всему графу транзакций внутри блокчейна, с одной стороны, предоставляет как преимущество – проверка транзакций на валидность и высокий уровень доверия, но также в нем кроется и фундаментальная уязвимость – аналитик, зная адрес одного участника, может пройти по цепочке UTXO и установить связанные адреса – этот метод называется кластеризацией [5, 6].

Для противодействия подобному отслеживанию разработан ряд методов. CoinJoin – протокол смешивания транзакций, при котором несколько участников объединяют свои входы и получают одинаковые суммы на выходе. Аналитик не может определить, кто кому заплатил. Lightning Network – сеть двусторонних платежных каналов между двумя узлами сети, где происходят многократные транзакции вне основного блокчейна [5, 7]. Stealth

Addresses – одноразовые адреса, которые генерируются для каждой транзакции, а также препятствуют связыванию входящих платежей с публичным ключом получателя.

Перечисленные методы существенно затрудняют анализ, однако ни один из них не дает полной анонимности. Задача оценки эффективности при применении их к конкретной транзакции остается значимой на практическом уровне.

Разработанный инструмент реализован на языке Python с использованием веб-фреймворка Streamlit, библиотеки Plotly для построения интерактивных диаграмм и Matplotlib для графа транзакции. Данные о транзакции берутся через публичный API blockchain.info по идентификатору транзакции (TXID) в режиме онлайн.

Кодовая база представляет собой три модуля: модуль получения данных (api.py), модуль аналитики со всеми расчетами (analyzer.py), а также модуль для создания интерфейса и визуализации (visualizer.py). Точкой входа является файл app.py, который координирует взаимодействие между всеми модулями.

Поток обработки данных: пользователь вводит TXID в поле ввода → API-модуль запрашивает данные транзакции → модуль для произведения расчетов вычисляет определенные метрики, включая итоговый Privacy Score → модуль для отрисовки строит гистограмму метрик, спидометр Privacy Score и граф транзакции → в итоге полученные результаты отображаются в браузере.

В основе предложенной модели лежит шесть метрик, приведенных в таблице 1. Каждая метрика принимает значение в диапазоне $[0; 1]$, где 0 означает отсутствие уязвимости по данному признаку, а 1 – максимальную уязвимость или максимальную защищенность в зависимости от направления влияния. Три метрики снижают итоговый показатель (признаки деанонимизации), три повышают (признаки защиты). Результирующий показатель Privacy Score вычисляется по следующей формуле:

$$Res = 30 + 45 \cdot P_{CJ} + 15 \cdot E + 8 \cdot \log_2(A + 1) - 20 \cdot P_{CD} - 20 \cdot P_{CIO} - 12 \cdot P_{RN},$$

где $P_{CJ} \in [0; 1]$ – вероятность того, что транзакция является CoinJoin (определяется по доле одинаковых выходных сумм, числу входов и их уникальности); $E \in [0; 1]$ – нормированная энтропия Шеннона по выходным суммам (1 – все суммы равны, 0 – один выход доминирует); $A \geq 1$ – Anonymity Set, число одинаковых выходных сумм (равно числу неразличимых участников

CoinJoin); $P_{CD} \in [0; 1]$ – вероятность определения адреса сдачи (1,0 при совпадении входного и выходного адреса, убывает при отсутствии явных признаков); $P_{CIO} \in [0; 1]$ – риск кластеризации входных адресов, растет логарифмически с числом уникальных входных адресов; $P_{RN} \in [0; 1]$ – доля выходных сумм, кратных 100 000 сатоши («круглых»). Итоговое значение ограничено диапазоном $[0; 100]$.

Обоснование весовых коэффициентов в формуле Privacy Score выполнено на основе экспертного анализа значимости каждой метрики для деанонимизации, а также с учетом практики блокчейн-аналитики. Коэффициенты нормированы так, чтобы итоговый показатель лежал в диапазоне $[0; 100]$ при типичных значениях метрик. Базовое значение 30 соответствует среднему уровню конфиденциальности при отсутствии каких-либо защитных механизмов и наличии всех признаков уязвимости. Метрика CoinJoin Detection (P_{CJ}) получила наибольший положительный вес 45, поскольку успешное смешивание транзакции является самым сильным фактором защиты, который затрудняет кластеризацию и отслеживание [8]. Энтропия выходов (E) с весом 15 учитывает равномерность распределения сумм, то есть высокая энтропия характерна для качественного CoinJoin или специально сконструированных анонимных транзакций. Anonymity Set (A) используется в логарифме с множителем 8, что отражает повышение анонимности (например, увеличение с 2 до 3 участников дает больший прирост, чем с 50 до 51). Среди негативных факторов наибольший «штраф» (по -20) присвоен метрикам Common Input Ownership (P_{CIO}) и Change Detection (P_{CD}), так как кластеризация входных адресов и идентификация сдачи являются основными эвристиками деанонимизации, используемыми во всех аналитических блокчейн-системах. Штраф за «круглые» суммы (P_{RN}) составляет -12, поскольку данный признак хотя и помогает аналитику отличать платеж от сдачи, но не является столь же универсальным, как две предыдущие уязвимости. Выбранные веса были дополнительно проверены нескольких тестовых транзакциях, и во всех случаях итоговый Privacy Score изменялся в нужную сторону, что подтверждает адекватность выбранных весов для каждого параметра.

ТАБЛИЦА 1. Метрики Privacy Score

Метрика	Что определяет	Влияние на Privacy Score
CIO (Common Input Ownership)	Кластеризацию входных адресов	Снижает
Change Detection	Вероятность определения адреса сдачи	Снижает
Round Number	Долю «круглых» выходных сумм	Снижает
CoinJoin Detection	Вероятность смешивающей транзакции	Повышает
Output Entropy	Однородность выходных сумм	Повышает
Anonymity Set	Число равных выходов (участников CJ)	Повышает

Метрика CIO (Common Input Ownership) основана на эвристике, согласно которой все входные адреса одной транзакции принадлежат одному владельцу, поскольку для подписи каждого входа требуется соответствующий приватный ключ [9]. Риск растет логарифмически с числом объединенных уникальных адресов: логарифмическая шкала точнее отражает прирост информации для аналитика при объединении большего числа адресов в один кластер.

Change Detection определяет вероятность установления адреса сдачи. Наиболее однозначный случай – повторное использование адреса (Address Reuse): адрес выхода совпадает с адресом входа, что идентифицируется с вероятностью 0,99. Менее очевидные случаи ранжируются по убыванию достоверности в зависимости от числа входов, выходов и наличия «круглых» сумм.

Метрика CoinJoin Detection определяет вероятность того, что транзакция является смешивающей. Главный признак – наличие двух и более одинаковых выходных сумм. При высокой вероятности CoinJoin снижается штрафное воздействие CIO и Round Number, поскольку в контексте CoinJoin разнородные входные адреса и одинаковые суммы выходов являются намеренными признаками защиты, а не уязвимостями.

Дополнительная функциональность инструмента – построение направленного графа транзакции средствами библиотеки Matplotlib и NetworkX. Граф отображает входные и выходные адреса в виде узлов, соединенных ребрами с указанием суммы перевода в BTC. Входы окрашиваются в оранжевый цвет, выходы – в зеленый; адрес, идентифицированный как сдача, выделяется красным. Центральный узел представляет саму транзакцию.

Такое представление позволяет наглядно интерпретировать результаты анализа: сравнить количество входов и выходов, выявить симметрию сумм (признак CoinJoin), обнаружить повторное использование адреса, а также оценить сложность транзакции для аналитика.

Инструмент был протестирован на двух показательных транзакциях. Первая – исторически первый публичный перевод Bitcoin от Сатоши Накамото к Хэлу Финни [10]. Инструмент присвоил транзакции низкий уровень конфиденциальности, поскольку сдачу можно однозначно определить через метод Address Reuse, оба выхода имеют круглые значения, а круглые выходы дают как правило понимание того, в каком выходе кроется платеж, а в каком – сдача.

Вторая протестированная транзакция – это CoinJoin с пятью входами от разных владельцев и пятью одинаковыми выходными суммами. Инструмент присвоил транзакции 88 баллов, корректно определил CoinJoin, а также значение вычислил Anonymity Set равное пяти, то есть аналитик угадает правильного получателя с вероятностью 20 % при 5 участниках транзакции CoinJoin. Пример работы разработанного инструмента для анализа транзакций с веб-интерфейсом представлен на рисунках 1-2.

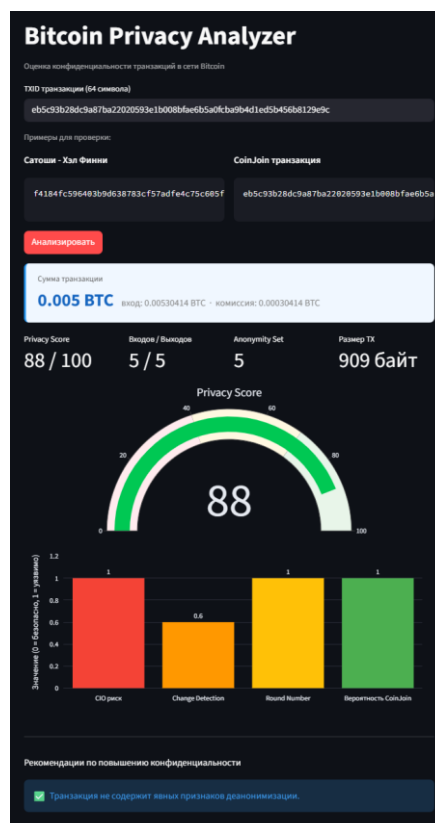


Рис. 1. Вывод уровня приватности со значениями метрикам

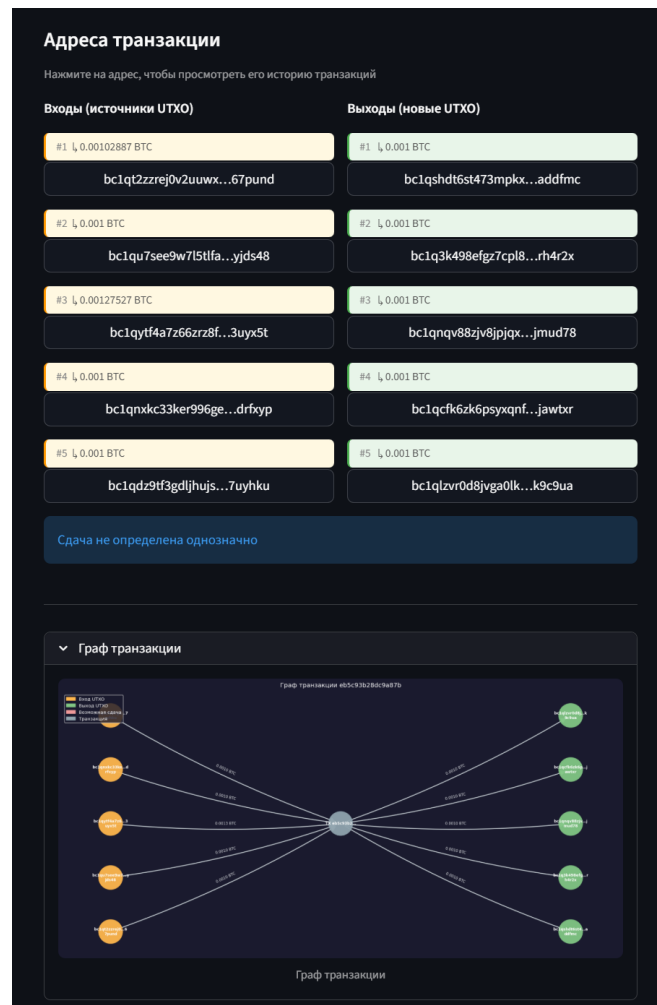


Рис. 2. Связь между адресами в транзакции

Исходя из анализа данных, полученных на основе анализа нескольких транзакций, можно подтвердить обоснованность разработанной модели. Разница в значении показателя Privacy Score между простой транзакцией без каких-либо использованных механизмов защиты и CoinJoin-транзакцией составила 80 баллов (8 баллов у Coinbase-транзакции от Сатоши Накамото к Хэллу Финни, и 88 баллов у транзакции с механизмом CoinJoin). Метрики были подобраны таким образом, чтобы не дублировать друг друга, и обеспечивать независимость расчетов. Взаимодействие метрик в использованной формуле для подсчета показателя подобрано таким образом, чтобы при обнаружении каких-либо механизмов защиты (например, тот же CoinJoin), воздействие на результат метрик CIO и Round Number было снижено, поскольку в таком случае эти признаки являются намеренными механизмами защиты, а не точками уязвимости.

В результате выполнения работы предложенная модель оценки конфиденциальности транзакций Bitcoin обоснована как с теоретической точки зрения, так и через тестирование на реальных транзакциях, взятых из

Bitcoin-сети. Используемая модель позволяет количественно соотнести эффективность различных методов повышения конфиденциальности относительно конкретной транзакции, что является практически значимым результатом для каждого пользователя сети Bitcoin.

Список используемых источников

1. Кочкаров А. А. Ретроспективный анализ криптовалютной платежной системы Биткойн: финансовые и информационно-технологические аспекты / А. А. Кочкаров, С. Д. Осипович, Р. А. Кочкаров // Проблемы экономики и юридической практики. 2019. Т. 15, № 6. С. 111-115.
2. Криптовалюты и анонимность: миф или реальность? [Электронный ресурс]. URL: <https://forensicanvil.ru/blog/crypto-anonymity-myth-reality/> (дата обращения: 03.04.2026).
3. Кушнир Д. В., Михайлова З. В. Блокчейн Операции и альтернативные технологии // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023). XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. науч. ст. в 4 т., СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 1. С. 740-745.
4. Кушнир Д. В., Скрябин Д. В. Обеспечение безопасности в технологии блокчейн // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2022): XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция, Сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 1. С. 642-648. EDN: NBFKGE.
5. Сат Д. М., Крылов Г. О., Айдаралиева А. А., Мочалин Д. О. Исследование и апробация метода кластерного анализа с использованием нейронных сетей для оценки транзакций криптовалюты Bitcoin // Информатизация и связь. 2017. № 3. С. 107-110. EDN: YMZMZB.
6. Anonymization Technologies of Cryptocurrency Transactions as MoneyLaundering Instrument / A. Goriacheva, N. Jakubenko, O. Pogodina, D. Silnov // FinTech and RegTech: III Network AML/CFT Institute International Scientific and Research Conference, Moscow, 21–23 ноября 2017 года. Moscow: Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2018. Р. 46-53. DOI 10.18502/kss.v3i2.1523.
7. Александрова Е. А., Кушнир Д. В. Исследование особенностей формирования блокчейна с хранением произвольных данных // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023): Сборник научных статей. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. науч. ст. в 4 т., СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 1. С. 47-52.
8. Ermilov D., Yanovich Y., Panov M. Automatic bitcoin address clustering // Proceedings – 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2017: 16, Cancun, 18–21 декабря 2017 года. Vol. 2018-January. Cancun, 2018. Р. 461-466. DOI 10.1109/ICMLA.2017.0-118. EDN: VCDAMP.
9. Коновалова М. Е. История формирования и развития мирового рынка криптовалюты // Наука XXI века: актуальные направления развития. 2022. № 2-1. С. 171-175. DOI 10.46554/ScienceXXI-2022.10-2.1-pp.171. EDN: PKBVEB.

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры ИБКС СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом Д. В. Кушниром.

УДК 003.26

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СТЕГОСИСТЕМЫ ПОВЫШЕННОЙ СКРЫТНОСТИ

Л. Д. Кушнир (магистрант группы МИБ-2511 СПбГУТ), kushnir.ld@sut.ru

Оптимизация параметров стегосистемы является важной задачей для повышения быстродействия вложения. За основу принимается подход, в котором скрытое сообщение внедряется с изменением всего лишь одного бита покрывающего объекта, а устойчивость к ошибкам обеспечивается применением помехоустойчивого кодирования. Анализируется влияние длины хеша на вероятность успешного вложения и подбираются оптимальные параметры кода Рида-Соломона. В зависимости от объема вкладываемой информации, увеличивается вероятность ошибки. Поэтому идет подбор оптимальных параметров для обеспечения максимального вложения при минимальной вероятности ошибки. Необходим компромисс между скрытностью, надежностью и объемом вложения.

стеганография, стегосистема, покрывающий объект, код Рида-Соломона, цифровые изображения

OPTIMIZATION OF PARAMETERS FOR A STEGANOGRAPHIC SYSTEM WITH ENHANCED STEALTH

Kushnir L.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

Optimization of the stegosystem parameters is an important task for improving embedding performance. The approach is based on a method in which the hidden message is embedded by modifying only one bit of the cover object, while error resistance is ensured through the use of error-correcting coding. The influence of hash length on the probability of successful embedding is analyzed, and the optimal parameters of the Reed–Solomon code are selected. Depending on the amount of information to be embedded, the probability of error increases. Therefore, optimal parameters are selected to ensure maximum embedding capacity with the minimum probability of error. A compromise is required between imperceptibility, reliability, and embedding capacity.

Key words: steganography, stegosystem, cover object, Reed–Solomon code, digital images

Развитие цифровых технологий и широкое использование мультимедийных контейнеров делают стеганографические методы актуальным инструментом защищенной передачи информации. В отличие от классического криптографического подхода, стеганография решает не только задачу сокрытия содержания сообщения, но и задачу сокрытия самого факта об-

мена данными. Для практического применения наибольший интерес представляют методы, позволяющие сохранить визуальные свойства изображения и одновременно обеспечить приемлемую емкость скрытого канала [1, 2].

В качестве исходной основы рассматривается стегосистема, описанная в работе [1], в которой предлагается способ вложения данных с изменением одного бита изображения. Такой подход снижает заметность модификаций, однако без дополнительного подбора параметров вложения он не обеспечивает наилучшего соотношения между скрытностью, вероятностью успешного внедрения и надежностью последующего извлечения. Поэтому целью настоящего исследования является выбор наиболее рациональных параметров стегосистемы повышенной скрытности.

В исследуемой схеме скрываемые данные предварительно шифруются [3, 4], после чего к шифртексту применяется код исправления ошибок. Далее полученная последовательность разбивается на m -битовые порции, для которых рассчитываются условия вложения на основе хеш-функции изображения. Если требуемое значение не достигается, выполняется ограниченное число попыток вложения l , предусматривающих минимальное изменение младшего значащего бита. На стороне приема выполняется обратная последовательность операций: вычисление параметров извлечения, восстановление кодовой последовательности, декодирование и дешифрование. Тем самым надежность системы определяется не одним параметром, а совокупностью параметров алгоритма вложения и параметров корректирующего кода.

Эксперименты проводились на изображениях размером 1920×1082 пикселя, что соответствует 2 073 600 пикселям в каждом контейнере. Одним из основных регулируемых параметров выступает длина хеша m . От нее зависит вероятность того, что для очередной порции скрываемых данных удастся найти подходящее состояние контейнера при ограниченном числе попыток вложения. Чем больше длина хеша, тем выше требования к совпадению вычисляемых значений и тем меньше вероятность успешного внедрения.

Данные таблицы 1 показывают, что даже при высоком качестве контейнера длина хеша оказывает существенное влияние на работоспособность метода. Теоретическая вероятность успешного вложения уменьшается от 99 % при $m = 18$ до 1 % при $m = 28$. Экспериментальные результаты подтверждают ту же тенденцию: при значениях $m = 18-21$ вероятность остается

высокой, а при $m = 22$ снижается до 50 %. Следовательно, чрезмерное увеличение длины хеша повышает требования к процессу вложения и фактически уменьшает полезную емкость скрытого канала.

ТАБЛИЦА 1. Вероятность успешного вложения при различных длинах хеша

Длина хеша		18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Вероятность успешного вложения	Теоретическая	99	98	86	62	39	23	11	6	3	2	1
	Экспериментальная	95	90	74	68	50	-	-	-	-	-	-

Для компенсации ошибок при извлечении в работе рассматривается применение кода Рида-Соломона. Выбор его параметров выполняется с учетом числа бит, вкладываемых в одно изображение. Параметры n и k определяют длину кодового блока и число информационных символов, а минимальное кодовое расстояние позволяет оценить число исправляемых ошибок и вероятность ошибки декодирования. Использование такого кода особенно важно в стеганографической системе, в которой уменьшение количества модификаций контейнера достигается за счет усложнения условий успешного вложения.

ТАБЛИЦА 2. Подбор параметров кода Рида-Соломона для набора из пяти изображений

Количество бит в одном изображении	Параметры кода	Вероятность ошибки P_e	Вероятность ошибки декодирования P_{ed}	Оценка времени прямого перебора, ч	Оценка времени перебора по алгоритму Гровера, ч
18	(90, 80)	0,05	$2,4 \times 10^{-101}$	0,6	0,00010
19	(95, 85)	0,10	$4,6 \times 10^{-81}$	0,8	0,00013
20	(100, 90)	0,26	$2,0 \times 10^{-47}$	1,0	0,00015
21	(105, 95)	0,38	$2,3 \times 10^{-34}$	1,5	0,00023

Количество бит в одном изображении	Параметры кода	Вероятность ошибки P_e	Вероятность ошибки декодирования P_{ed}	Оценка времени прямого перебора, ч	Оценка времени перебора по алгоритму Гровера, ч
22	(110, 100)	0,50	$1,6 \times 10^{-24}$	2,1	0,00032
23	(115, 105)	0,77	$1,7 \times 10^{-7*}$	3,3	0,00049
24	(120, 110)	0,89	0,011*	5,0	0,00072
25	(125, 115)	0,96	0,15*	8,0	0,00113

Анализ таблицы 2 показывает, что при увеличении числа вкладываемых бит вероятность ошибки P_e возрастает от 0,05 до 0,96. При этом для диапазона 18-22 бит вероятность ошибки декодирования P_{ed} остается пренебрежимо малой, а после 23 бит начинает быстро ухудшаться. Из этого следует, что наращивание емкости контейнера без ограничения приводит к заметной потере надежности. Наиболее сбалансированной представляется область 20-22 бит на одно изображение, при которой еще сохраняется приемлемый запас по декодированию, а скрытый канал остается практически применимым.

Таким образом, оптимизация параметров стегосистемы повышенной скрытности должна выполняться комплексно. Недостаточно выбирать только объем скрытого вложения или только параметры корректирующего кода. Требуется совместный учет длины хеша, числа попыток вложения, структуры кодового слова и допустимой вероятности ошибки. Такой подход позволяет повысить надежность извлечения сообщения без существенного увеличения числа модифицируемых элементов контейнера.

Перспективы дальнейших исследований связаны с экспериментальной оценкой необнаруживаемости предлагаемой стегосистемы методами NIST и другими [5, 6], сравнением ее свойств с результатами интеллектуального анализа изображений, а также с изучением возможности применения квантовых алгоритмов для оптимизации процедуры вложения. Эти направления являются логичным продолжением представленного исследования и позволяют перейти от подбора параметров к более полной оценке стойкости метода в реальных условиях.

В работе показано, что для стегосистемы с изменением одного бита ключевым фактором эффективности является согласованный выбор параметров вложения и параметров помехоустойчивого кодирования. Полученные результаты подтверждают возможность построения скрытого канала передачи данных, обладающего высокой скрытностью и приемлемой надежностью извлечения при разумной емкости контейнера.

Список используемых источников

1. Коржик В. И., Яковлев В. А., Герлинг Е. Ю. Стегосистема для необнаруживаемой передачи данных, защищенная от известных атак и максимизирующая объем скрытого вложения // Электросвязь. 2025. № 9. С. 54-64. DOI: 10.34832/ELSV.2025.71.9.005 EDN: NEHFPB.
2. Коржик В. И., Красов А. В. Цифровая стеганография: учебник. М.: КноРус, 2023. 324 с. ISBN: 978-5-406-10970-0.
3. Коржик В. И., Красов А. В. Цифровая стеганография: учебник. СПб., 2025.
4. Korzhik V., Cuong N. D., Fedyanin I., Morales-Luna G. Side Attacks on Stegosystems Executing Message Encryption Previous to Embedding // Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing. 2020. Vol. 11. N 1. P. 44-57. EDN: ZOVBGX.
5. Bassham L. E., Rukhin A. L., Soto J., Nechvatal J. R., Smid M. E., Leigh S. D., Levenson M., Vangel M., Heckert N. A., Banks D. L., Dray J. R., Vo S., Bassham L. E. A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications: NIST Special Publication 800-22 Rev. 1a. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2010. 131 p. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-22r1a.
6. Järpe E., Gouchet Q. Perspective Chapter: Distinguishing Encrypted from Non-Encrypted Data // Lightweight Cryptographic Techniques and Cybersecurity Approaches. Ed. S. Ramakrishnan. London: IntechOpen, 2022. С. 119-136. DOI: 10.5772/intechopen.102856.

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры ИБКС СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом Е. Ю. Герлинг.

УДК 004.056

АТАКА ESXIARGS НА СЕРВЕРЫ VMWARE ESXi: ОСОБЕННОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ВИРТУАЛИЗИРОВАННЫХ ЦОД И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ

Д. С. Перцев (студент группы ИБС-21, СПбГУТ), percev.ds@sut.ru

Атака ESXiArgs на серверы виртуализации VMware ESXi, применяемые в инфраструктуре центров обработки данных. Показаны особенности поражения виртуализированных сред, связанные с воздействием на уровень гипервизора, а также последствия для доступности сервисов и виртуальных машин. Рассматриваются основные уязвимости, ошибки конфигурации и практические меры защиты, направленные на повышение устойчивости виртуализированных ЦОД и обеспечение безопасности данных.

VMware ESXi, ESXiArgs, гипервизор, кибератака, виртуализация, ЦОД, информационная безопасность, шифровальщик

ATTACK ESXIARGS ON VMWARE ESXi SERVERS: FEATURES OF IMPACT ON VIRTUALIZED DATA CENTERS AND PROTECTION METHODS

Pertsev D.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

ESXiArgs attack targeting VMware ESXi servers used in data center infrastructure. The features of attacks on virtualized environments at the hypervisor level, as well as their impact on service availability and virtual machines, are considered. Particular attention is paid to vulnerabilities, configuration weaknesses and practical protection measures for improving the resilience of virtualized data centers and ensuring data security.

Key words: VMware ESXi, ESXiArgs, hypervisor, virtualization, data center, information security, ransomware

В последние годы виртуализация стала одной из ключевых технологий построения современной ИТ-инфраструктуры. Для организаций она позволяет более эффективно использовать вычислительные ресурсы, упростить развертывание сервисов, обеспечить гибкость управления и сократить затраты на сопровождение серверного оборудования [1]. Одним из наиболее распространенных решений в данной области является гипервизор VMware ESXi, широко применяемый в корпоративных сетях, облачных платформах и инфраструктуре центров обработки данных.

Одновременно с ростом масштабов виртуализации возрастает и интерес злоумышленников к уровню гипервизора. Если традиционные атаки-вымогатели были ориентированы главным образом на отдельные рабочие станции и серверы, то современные сценарии все чаще направлены на инфраструктурные компоненты. Компрометация гипервизора позволяет нарушить работу сразу нескольких виртуальных машин, что существенно увеличивает масштаб последствий инцидента. Показательным примером подобной угрозы стала кампания ESXiArgs, получившая известность как атака на серверы VMware ESXi с последующим нарушением доступности виртуальной инфраструктуры [2].

Особенность ESXiArgs заключается в том, что воздействие оказывается не только на пользовательские данные, но и на критически важные служебные элементы виртуальной среды. В ходе атаки затрагиваются конфигурационные файлы виртуальных машин, метаданные и файлы виртуальных дисков. В результате даже в случаях, когда часть данных остается физически сохранной, запуск виртуальной машины становится невозможным без дополнительного восстановления структуры и параметров конфигурации. Для организации это означает не просто потерю доступа к одному узлу, а остановку целого набора сервисов, размещенных на одном физическом сервере.

Анализ известных инцидентов показывает, что успешность подобных атак во многом определялась использованием устаревших версий гипервизора и наличием ошибок конфигурации. Одним из наиболее обсуждаемых векторов компрометации являлась эксплуатация уязвимостей, связанных с сервисом OpenSLP. При наличии сетевой доступности и отсутствии необходимых обновлений такая уязвимость могла использоваться как точка входа на стороне гипервизора [3]. Таким образом, в большинстве случаев речь идет не о принципиально новых механизмах взлома, а о повторном использовании ранее известных проблем безопасности в инфраструктуре, которая не была своевременно обновлена или изолирована.

Дополнительным фактором риска является архитектура самих виртуализированных центров обработки данных. Один физический сервер может обслуживать значительное количество виртуальных машин, включая прикладные сервисы, базы данных, средства мониторинга, узлы аутентификации и другие критически важные компоненты. Поэтому компрометация одного гипервизора влечет мультипликативный эффект: локальный инцидент быстро превращается в масштабное нарушение доступности сервисов на уровне всей организации [4]. В отличие от обычного заражения одной

операционной системы, атака на гипервизор влияет сразу на несколько бизнес-процессов и требует существенно больших ресурсов на восстановление.

Недостаточная изоляция контура управления также может заметно повлиять на успешность атаки. На практике иногда встречается ситуация, когда административные интерфейсы ESXi доступны не только из специально выделенной защищенной сети, но и из других сегментов, которые не должны иметь к ним доступа. В таком случае злоумышленнику становится проще добраться до гипервизора и получить первоначальный доступ к инфраструктуре. Дополнительный риск появляется тогда, когда привилегированные учетные записи контролируются слабо, многофакторная аутентификация не используется, а журналы событий анализируются нерегулярно или только после появления явных проблем. Особенность ESXiArgs заключается в том, что последствия атаки не всегда сводятся только к шифрованию файлов виртуальных машин. Даже если активную фазу атаки удалось остановить, организации все равно приходится разбираться с большим количеством последствий. Необходимо определить, какие виртуальные машины были повреждены, проверить пригодность резервных копий, восстановить конфигурационные файлы и отдельно оценить, не был ли скомпрометирован сам контур управления ESXi. Для инфраструктуры центра обработки данных подобный сценарий особенно опасен, поскольку критичным становится не только факт нарушения конфиденциальности или целостности, но и потеря доступности сервисов.

С учетом рассмотренных особенностей защита от атак на гипервизоры должна строиться комплексно. В первую очередь необходимо обеспечивать своевременное обновление VMware ESXi и других компонентов виртуальной инфраструктуры, особенно в тех случаях, когда уязвимость уже публично раскрыта и для нее выпущены исправления [3]. Вторым обязательным направлением является сокращение поверхности атаки: отключение неиспользуемых сервисов, ограничение сетевой доступности интерфейсов управления, выделение административного контура в отдельный сегмент сети и минимизация числа узлов, имеющих прямой доступ к гипервизору.

Не менее важным является применение организационных мер. К ним относятся разграничение прав доступа, использование многофакторной аутентификации для административных учетных записей, регулярная смена учетных данных, аудит настроек безопасности и постоянный контроль журналов событий. Отдельное место занимает резервное копирование. Резервные копии должны храниться таким образом, чтобы атака на рабочую инфраструктуру не

приводила к их одновременной компрометации. Наиболее устойчивым подходом является сочетание резервного копирования, изоляции резервов и регулярной проверки возможности восстановления [5].

Кроме того, для виртуализированных сред важно заранее проработать порядок реагирования на инциденты. Организация должна иметь понятный сценарий изоляции пораженного гипервизора, приостановки распространения атаки, фиксации артефактов, проверки состояния остальных узлов и восстановления критически важных сервисов в приоритетном порядке. Отсутствие такого сценария приводит к потере времени в момент инцидента и усугубляет последствия атаки.

Таким образом, атака ESXiArgs демонстрирует смещение современных киберугроз в сторону инфраструктурного уровня. Ее опасность определяется тем, что компрометация гипервизора позволяет одновременно воздействовать на множество виртуальных машин и связанных с ними сервисов. Проведенный анализ показывает, что ключевыми факторами риска являются использование устаревшего программного обеспечения, ошибки конфигурации, недостаточная сегментация сети и слабая защита контура управления. В этих условиях обеспечение безопасности виртуализированных центров обработки данных требует системного подхода, включающего технические и организационные меры. Только сочетание своевременного обновления, ограничения поверхности атаки, надежного резервного копирования и заранее подготовленного порядка реагирования позволяет повысить устойчивость инфраструктуры к атакам данного типа.

Список используемых источников

1. Scarfone K. A., Souppaya M. P. Guide to Security for Full Virtualization Technologies: NIST Special Publication 800-125. URL: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-125/final> (дата обращения: 01.04.2026).
2. CISA. ESXiArgs Ransomware Virtual Machine Recovery. URL: <https://www.cisa.gov/news-events/cybersecurity-advisories/aa23-039a> (дата обращения: 01.04.2026).
3. VMware. VMware Security Advisory VMSA-2021-0002. URL: <https://support.broadcom.com/web/ecx/support-content-notification/-/external/content/SecurityAdvisories/0/23599> (дата обращения: 01.04.2026).
4. ENISA. ENISA Threat Landscape 2023. URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2023> (дата обращения: 01.04.2026).
5. CISA. Ransomware Guide. URL: <https://www.cisa.gov/stopransomware/ransomware-guide> (дата обращения: 01.04.2026).

Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем кафедры ИБКС СПбГУТ М. А. Скорых.

УДК 004.056.5

РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ SOAR ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПЕРИМЕТРА 6G НА ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ

Ю. Ф. Потемкина (студент группы МЗС-2511, СПбГУТ),
potemkina.uf@sut.ru

В статье рассматривается архитектура распределенных платформ SOAR для обеспечения кибербезопасности в сетях 6G. Обосновывается необходимость переноса оркестрации на уровень граничных вычислений для соблюдения требований к задержкам и работы с динамическими сетевыми срезами. Описываются механизмы мгновенного реагирования на инциденты, синхронизации политик между узлами и балансировки нагрузки в условиях нестабильной связности. Представлены сценарии применения в промышленных и транспортных системах, а также технические ограничения и перспективы стандартизации. Результаты подтверждают эффективность перехода от централизованных моделей к гибридным граничным решениям.

SOAR, информационная безопасность, 6G, отказоустойчивость, граничные вычисления

DISTRIBUTED SOAR FOR 6G PERIMETER PROTECTION IN EDGE COMPUTING

Potemkina Yu.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines the architecture of distributed SOAR platforms for ensuring cybersecurity in 6G networks. The necessity of moving orchestration to the edge computing level is substantiated to meet latency requirements and work with dynamic network slices. Mechanisms for instant incident response, policy synchronization between nodes, and load balancing under unstable connectivity conditions are described. Application scenarios in industrial and transportation systems are presented, as well as technical limitations and standardization prospects. The results confirm the effectiveness of transitioning from centralized models to hybrid edge solutions.

Key words: SOAR, information security, 6G, fault tolerance, edge computing

Развитие телекоммуникационных сетей шестого поколения сопровождается существенным увеличением количества подключенных устройств, ростом скорости передачи данных и внедрением сервисов, критичных к задержкам. Традиционные подходы к управлению инцидентами информационной безопасности, основанные на централизованной обработке телеметрии и удаленном исполнении сценариев реагирования, оказываются неэффективными в условиях динамической топологии 6G [1, 2]. Сверхниз-

кие задержки на уровне долей миллисекунды, постоянное изменение конфигурации сетевых срезов и массовое использование устройств интернета вещей требуют пересмотра архитектуры систем автоматизации. Платформы SOAR должны обеспечивать обработку событий и принятие решений непосредственно в точке возникновения угрозы, что становится возможным благодаря интеграции с инфраструктурой граничных вычислений [3]. Распределенная модель оркестрации позволяет сократить время реакции на инцидент, минимизировать нагрузку на магистральные каналы связи и повысить устойчивость системы к отказам центральных узлов.

Архитектура распределенного SOAR для сетей 6G реализуется на основе двухуровневой модели взаимодействия, которая представлена на рис. 1.

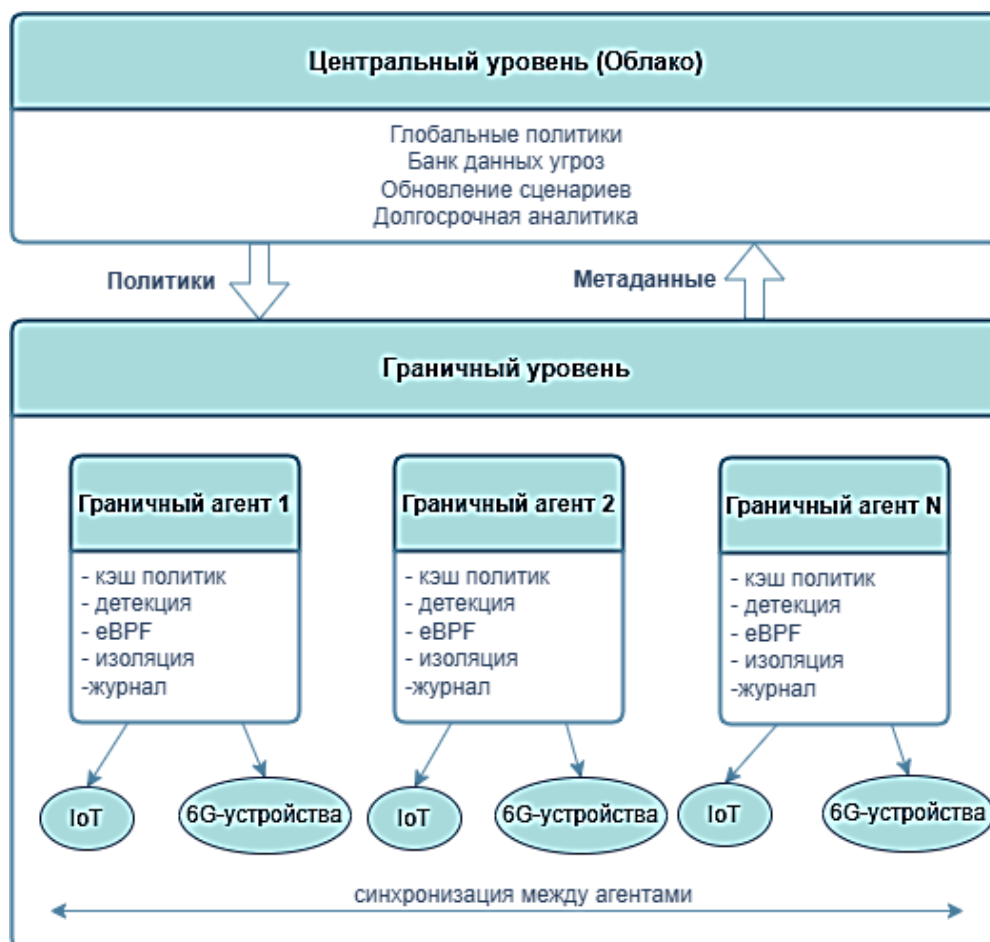


Рис. 1. Двухуровневая модель взаимодействия

Верхний уровень представляет собой центральный узел управления, который размещается в облачной инфраструктуре оператора связи или в защищенном центре мониторинга. Этот компонент отвечает за хранение актуальных данных об угрозах, формирование глобальных политик безопасности, обновление сценариев реагирования и долгосрочный анализ

тенденций. Нижний уровень состоит из множества граничных агентов, развернутых непосредственно на серверах многодоступных вычислений и базовых станциях 6G. Каждый агент получает от центрального узла проверенные политики безопасности и кэширует их локально. При обнаружении аномальной активности граничный агент самостоятельно принимает решение о применении мер защиты, не дожидаясь подтверждения из облака. Обмен данными между уровнями происходит асинхронно. Центральный узел периодически рассылает обновленные сценарии, а граничные узлы отправляют вверх агрегированные метаданные об инцидентах и журналы выполненных действий. Такая структура позволяет сохранить управляемость системы в целом и обеспечить полную автономию на периферии сети [4].

Для оценки эффективности предложенной двухуровневой модели целесообразно сопоставить ее с традиционным централизованным подходом по ключевым параметрам. Как отражено в таблице 1, распределенная архитектура обеспечивает преимущества по времени реакции, устойчивости к сбоям связи и степени автономности граничных узлов [5].

ТАБЛИЦА 1. Сравнение централизованной и распределенной моделей SOAR

Параметр сравнения	Централизованная модель	Распределенная (граничная) модель
Время реакции на инцидент	Секунды – десятки секунд	Доли миллисекунды
Устойчивость к разрывам связи с центром	Низкая (требуется постоянное соединение)	Высокая (работа в автономном режиме)
Нагрузка на магистральные каналы связи	Высокая (передача всей телеметрии в центр)	Минимальная (передача только агрегированных метаданных)
Автономность узлов	Отсутствует (все решения принимаются в центре)	Полная (локальное принятие решений по кэшированным политикам)
Масштабируемость	Ограничена производительностью центрального узла	Высокая (добавление новых граничных агентов без перегрузки центра)
Время восстановления после сбоя	Минуты – часы (зависит от доступности центра)	Секунды (автоматическая миграция задач между соседними узлами)

Для поддержания целостности системы при временном отключении от центрального узла каждый периферийный компонент оснащается механиз-

мами аппаратной проверки подлинности [6]. При загрузке устройства выполняется контроль цифровой подписи исполняемого кода и сверка конфигурации с заранее утвержденным программным модулем. Политики безопасности хранятся в защищенной памяти с обязательным применением шифрования. При эксплуатации любое изменение локальных параметров сразу попадает в журнал событий, причем обязательно привязывается к аппаратному идентификатору конкретного узла. Подобный подход гарантирует, что даже в условиях полной автономии система задействует исключительно заранее верифицированные сценарии реагирования.

Скорость реакции на инциденты обеспечивается за счет микросегментации в реальном времени и применения детерминированных алгоритмов [7]. Заметив аномалию, граничный агент тут же активирует правила фильтрации. Следом подозрительный трафик уходит в изолированную среду, либо поврежденный сегмент сети временно отключается через интерфейсы 5G/6G. Каждое действие фиксируется в защищенном журнале, где автоматически выстраивается хэш-цепочка. Попытка изменить или стереть запись приводит к разрыву цепочки, и при очередной проверке на центральном узле средства аудита моментально фиксируют факт вмешательства. Синхронизировать политики между распределенными узлами помогают алгоритмы бесконфликтной репликации (CDRT). Они удерживают систему в едином состоянии, не блокируя соединения. При потере связи локальные узлы не останавливаются, а продолжают работу, опираясь на кэшированные сценарии и репутационные базы. Восстановление канала запускает автоматическую сверку, недостающие данные подгружаются. Сам механизм репликации строится на детерминированном слиянии изменений. Операции получают уникальные временные метки и идентификаторы. Правила объединения жестко закреплены: результат будет одинаковым независимо от того, в каком порядке пришли обновления. Конфликты при одновременной правке политик разными агентами просто исключаются. Расхождения система устраняет сама, без участия администратора.

Отказоустойчивость и балансировку нагрузки поддерживают за счет динамического перераспределения задач между соседними граничными узлами и региональными центрами. При перегрузке вычислительных ресурсов или физической компрометации сервера управление безопасностью мгновенно переключается на резервный элемент кластера. Тяжелые операции, вроде обучения моделей машинного обучения или долгосрочного хранения телеметрии, уходят в облако. На периферии остаются исключительно

те задачи, где задержка реакции не должна превышать одну миллисекунду. Гибридная архитектура позволяет рационально использовать имеющиеся мощности, сохраняя работоспособность системы даже при частичном разрыве каналов. Примечательно, что все автономные действия предварительно тестируются в цифровых двойниках сетевой инфраструктуры. Подобная практика снижает риск ложных срабатываний. И, что важно, не нарушает работу легитимных сервисов.

Вычислительные возможности периферийного оборудования, как правило, ограничены. Поэтому сценарии реагирования заранее калибруют под конкретную аппаратную платформу. На границе сети, по сути, остаются лишь жесткие правила фильтрации и базовые процедуры изоляции. При снижении производительности система временно отключает вспомогательный мониторинг. В архитектуре узла остаются только ключевые защитные механизмы. Подобный подход позволяет оркестратору устойчиво функционировать даже на устройствах с минимальным объемом памяти и весьма ограниченными вычислительными ресурсами.

На практике распределенные платформы SOAR показывают высокую ценность в отраслях, где технологические циклы не терпят простоев. В промышленном интернете вещей система способна изолировать зараженный контроллер без остановки линии и перебросить критический трафик по резервным маршрутам. В беспилотном транспорте поврежденный модуль связи отключается мгновенно с перестроением маршрутов обмена данными внутри колонны. В энергосетях автоматическая локализация атак на уровне подстанции предотвращает каскадные отключения. Внедрение, разумеется, не обходится без технических препятствий. Отсутствие единых стандартов взаимодействия между вендорским оборудованием тормозит интеграцию, серьезно усложняя процедуру сертификации [8]. Путь решения лежит через развитие открытых протоколов обмена данными об угрозах, внедрение механизмов валидации автономных решений. Масштабировать архитектуру стоит только после тщательных пилотных испытаний на тестовых стендах.

Согласовать технические требования с актуальными нормативными документами в сфере информационной безопасности предстоит еще долго. Развертывание распределенных платформ потребует пересмотра методических рекомендаций по аттестации граничных узлов. Необходимо разработать единые профили взаимодействия для оборудования разных производителей. Отдельного внимания заслуживает формализация процедур обмена метаданными об инцидентах. Подобный шаг обеспечит совместимость

с уже развернутыми системами мониторинга. И, что немаловажно, не создаст избыточной нагрузки на каналы связи. Когда появятся отраслевые стандарты и накопится опыт эксплуатации, такие решения смогут перейти из тестовых зон в широкое применение на критически важных инфраструктурах.

Проведенный анализ показывает, что централизованные модели управления безопасностью не способны удовлетворить требованиям сетей 6G ни по скорости обработки инцидентов, ни по гибкости при изменениях топологии. Распределенная архитектура SOAR с выносом логики реагирования на граничные узлы позволяет достичь задержек в доли миллисекунды, сохранять работоспособность при обрывах связи и автоматически изолировать угрозу прямо в точке ее возникновения. Чтобы модель успешно работала, нужна оптимизация вычислительных ресурсов на периферии, внедрение алгоритмов бесконфликтной синхронизации политик и использование цифровых двойников для безопасной отработки автономных сценариев. Реальные примеры из транспорта, промышленности и энергетики подтверждают, что переход на гибридную граничную оркестрацию повышает устойчивость инфраструктуры к кибератакам и закладывает основу для развития полностью автономных защитных систем. При этом массовое внедрение распределенных платформ SOAR в сети 6G будет зависеть от стандартизации протоколов взаимодействия и развития открытых интерфейсов. Для реализации предложенной модели нужна не только технологическая доработка, но и нормативное согласование. Разумно разработать рекомендации по аттестации граничных узлов безопасности и включить механизмы распределенной оркестрации в стандарты операторов связи. Эти меры ускорят получение сертификатов и позволят на законных основаниях использовать на объектах, относящихся к критической информационной инфраструктуре.

Список используемых источников

1. Петров И. А. Безопасность физического уровня для сетей 5G/6G // Вопросы кибербезопасности. 2023. № 3 (47). С. 101-113. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-3-101-113 EDN: PVKYPH.
2. Lipatnikov V., Tikhonov V., Shevchenko A. Security management in large-scale heterogeneous network systems based on intelligent information security services // ACM International Conference Proceeding Series: 5, The Premier Conference on Smart Next Generation Networking Technologies. 2021. P. 562-567. DOI: 10.1145/3508072.3508187 EDN: IEGBNY.
3. Селезнев В. М., Боровская О. Е. Встраивание инструментов SOAR-платформ в экосистему SOC для автоматизации процесса реагирования на инциденты ИБ // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 10 (124). С. 78-85. DOI: 10.23670/IRJ.2022.124.8 EDN: KVTAKX.
4. Benlloch-Caballero P., Matencio-Escolar A., Bernal Bernabe J. E2E Network Slicing for Enhanced Cybersecurity, Orchestration, Automation and Response in 5G/6G: The RIGOUROUS Approach // Journal of Network and Systems Management. 2026. Vol. 34. N 1. P. 22. DOI: 10.1007/s10922-025-09999-w EDN: WISDHG.
5. Minyaev A. A., Krasov A. V., Saharov D. V. The method and methodology of efficiency assessment of protection system of distributed information systems // 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, ICUMT 2020. 2020. P. 291-295. DOI: 10.1109/ICUMT51630.2020.9222451 EDN: KAGNKZ.
6. Красов А. В., Гельфанд А. М., Коржик В. И., Попов А. С., Савельев А. С., Сорокин С. А. Построение доверенной вычислительной среды. Санкт-Петербург: Индивидуальный предприниматель Петрив Роман Богданович, 2019. 108 с. ISBN: 978-5-6043143-2-6. EDN: RECXB1.
7. Алейников А. А., Билятдинов К. З., Красов А. В., Левин М. В. Контроль, измерение и интеллектуальное управление трафиком: монография. Санкт-Петербург: Центр научно-информационных технологий "Астерион", 2016. 92 с. ISBN: 978-5-00045-385-8 EDN: WLROTL.
8. Попов А. Д., Попова А. Д. Анализ технологий защиты информации для использования в инфраструктуре предприятия // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022. Т. 49, № 4. С. 78-84. DOI: 10.21681/2073-6185-2022-49-4-78-84 EDN: BNZUGC.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры ЗСС, заместителем декана факультета КБ по научной работе С. И. Штеренбергом.

УДК 004.056.53-004.62

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

А. Ю. Строило (студент группы МЗС-2512, СПбГУТ), stroilo.au@sut.ru

Системы хранения данных являются важным компонентом современной информационной инфраструктуры и обеспечивают хранение и обработку больших объемов информации. Усложнение архитектуры и рост масштабов таких систем увеличивают вероятность возникновения различных аномалий, связанных с аппаратными отказами, программными сбоями и перегрузкой ресурсов. В работе рассматриваются основные модели и алгоритмы обнаружения атак и аномалий, применяемые при мониторинге компьютерных систем и систем хранения данных. Представлена классификация методов обнаружения атак и дана краткая характеристика основных подходов. Особое внимание уделено модели обработки диагностической информации, основанной на использовании диагностической онтологии и анализе журналов событий системы хранения данных. Показано, что развитие данного подхода является перспективным направлением повышения эффективности диагностики систем хранения данных.

системы хранения данных, обнаружение аномалий, диагностика СХД, анализ журналов событий, машинное обучение, мониторинг компьютерных систем

MODELS AND ALGORITHMS FOR ANOMALY DETECTION IN DATA STORAGE SYSTEMS

Stroilo A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

Data storage systems are an important component of modern information infrastructure and provide storage and processing of large amounts of information. The complexity of the architecture and the growth of the scale of such systems increase the likelihood of various anomalies related to hardware failures, software crashes, and resource overload. This paper discusses the main models and algorithms for detecting attacks and anomalies used in monitoring computer systems and data storage systems. It presents a classification of attack detection methods and provides a brief overview of the main approaches. Special attention is given to the model for processing diagnostic information based on the use of a diagnostic ontology and the analysis of data storage system event logs. It is shown that the development of this approach is a promising direction for improving the efficiency of data storage system diagnostics.

Key words: data storage systems, anomaly detection, storage diagnostics, event log analysis, machine learning, computer system monitoring

Современные системы хранения данных являются важнейшим элементом информационной инфраструктуры организаций и используются в корпоративных информационных системах, облачных платформах и центрах обработки данных. Увеличение объемов обрабатываемой информации и усложнение архитектуры вычислительных систем приводят к росту требований к надежности и отказоустойчивости таких систем. В процессе эксплуатации систем хранения данных могут возникать различные нарушения функционирования, вызванные аппаратными отказами дисковых устройств, сбоями программного обеспечения, перегрузкой ресурсов или ошибками конфигурации. Подобные нарушения часто проявляются в виде аномалий, которые выражаются в изменении характеристик производительности системы, появлении ошибок в системных журналах или нетипичном поведении отдельных компонентов системы. Для своевременного выявления подобных отклонений применяются методы анализа диагностической информации, включающей журналы событий, показатели производительности и параметры состояния оборудования [1]. Применение методов обнаружения атак и аномалий позволяет выявлять отклонения поведения системы от нормального состояния и повышает эффективность диагностики сложных вычислительных инфраструктур.

В задачах мониторинга компьютерных систем традиционно используются два основных подхода к выявлению нарушений функционирования: методы обнаружения злоупотреблений и методы обнаружения аномалий. Методы обнаружения злоупотреблений основаны на использовании заранее известных шаблонов атак или сбоев. В таких системах формируется база сигнатур, содержащая описания известных сценариев нарушений, а текущие события сопоставляются с имеющимися шаблонами. При совпадении фиксируется факт нарушения. Методы обнаружения аномалий, напротив, основываются на анализе нормального поведения системы. В процессе обучения формируется модель нормального функционирования системы, с которой сравниваются текущие наблюдаемые данные. Существенные отклонения от нормального поведения рассматриваются как потенциальные аномалии [2]. Современные методы обнаружения атак могут быть классифицированы в зависимости от используемых моделей анализа данных. Основные группы методов представлены на рис. 1.

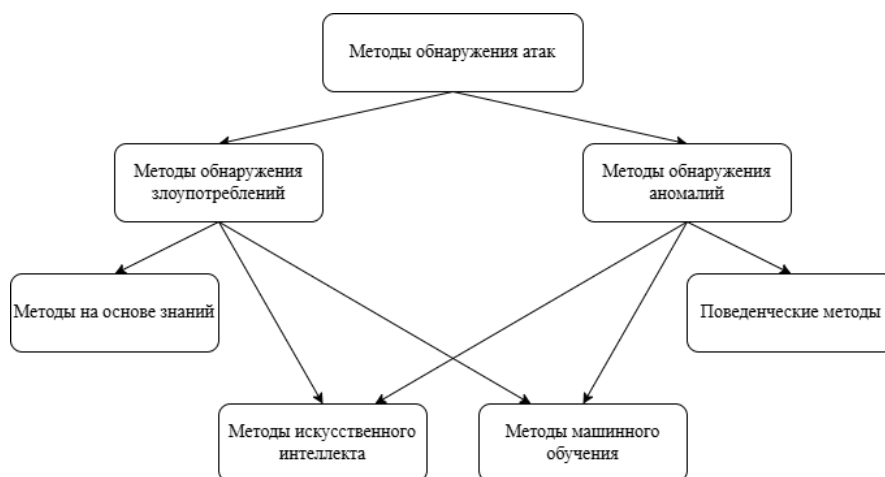


Рис. 1. Классификация методов обнаружения атак

Методы обнаружения злоупотреблений основаны на использовании базы известных атак и правил их обнаружения. Основным преимуществом данного подхода является высокая точность выявления известных угроз. Однако такие методы не позволяют обнаруживать новые типы атак и требуют постоянного обновления базы сигнатур. Методы обнаружения аномалий строятся на анализе нормального поведения системы и выявлении отклонений от сформированной эталонной модели. Ключевое достоинство этого подхода заключается в возможности обнаружения ранее неизвестных нарушений функционирования системы, хотя его применение может сопровождаться ложными срабатываниями.

При обнаружении аномалий широко применяются поведенческие методы, основанные на анализе характеристик работы системы и активности ее компонентов. Анализируются параметры производительности, последовательности событий, системные вызовы и другие показатели, характеризующие нормальное функционирование вычислительной системы. Методы машинного обучения позволяют анализировать большие объемы диагностических данных и выявлять скрытые закономерности в поведении системы. Такие методы используют алгоритмы классификации, кластеризации и прогнозирования, что позволяет автоматизировать процесс обнаружения аномалий. Нейросетевые модели, в частности, эффективны при анализе больших массивов данных и выявляют сложные нелинейные зависимости между параметрами системы. Они способны обнаруживать ранее неизвестные типы аномалий, однако требуют значительных вычислительных ресурсов и наличия обучающих выборок. В задачах диагностики компьютерных систем также востребованы методы искусственного интеллекта, включая экс-

пертные системы и интеллектуальный анализ данных. Эти методы помогают использовать накопленные знания о функционировании системы и выявлять взаимосвязи между различными параметрами ее работы.

Для диагностики систем хранения данных предлагается модель обработки диагностической информации, основанная на анализе журналов событий и использовании структурированного представления диагностических данных. Данный подход относится к методам обнаружения аномалий и объединяет элементы машинного обучения и искусственного интеллекта. В основе модели лежит анализ диагностической информации, поступающей из различных источников системы хранения данных, включая журналы событий, параметры производительности и данные о состоянии оборудования. Конкретная реализация представлена моделью на базе диагностической онтологии и анализа журналов событий системы. Согласно этому подходу, диагностическая информация представляется в виде набора взаимосвязанных объектов и событий, что позволяет выявлять причинно-следственные связи между возникающими аномалиями и состоянием компонентов системы. Онтологическая модель дает возможность формализовать структуру системы хранения данных и учитывать взаимосвязи между ее элементами, а применение методов машинного обучения для анализа журналов событий позволяет обнаруживать скрытые закономерности в диагностических данных и выявлять ранее неизвестные типы сбоев [3].

Анализ существующих методов обнаружения атак показывает, что каждый из рассматриваемых подходов обладает определенными преимуществами и ограничениями. Методы обнаружения злоупотреблений позволяют эффективно выявлять известные типы атак, однако не способны обнаруживать новые нарушения функционирования системы. Методы обнаружения аномалий, напротив, позволяют выявлять ранее неизвестные отклонения в работе системы, но могут сопровождаться ложными срабатываниями. Перспективным направлением развития методов диагностики систем хранения данных является использование комбинированных моделей обработки диагностической информации, объединяющих структурные модели системы и методы интеллектуального анализа данных. Использование комбинированных механизмов обнаружения атак позволяет повысить точность диагностики и снизить количество ложных срабатываний за счет совместного применения различных методов анализа данных [4]. Одним из таких подходов является модель обработки диагностической информации,

основанная на использовании диагностической онтологии и анализе журналов событий. Перспективность данного метода заключается в возможности более полного учета взаимосвязей между компонентами системы хранения данных и повышении эффективности обнаружения аномалий. В связи с этим дальнейшие исследования могут быть направлены на развитие и совершенствование данной модели обработки диагностической информации.

Список используемых источников

1. Успенский М. Б. Обзор подходов к обнаружению сбоев в системах хранения данных / М. Б. Успенский // Научно-технические ведомости СПбПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2019. Т. 12. № 4. С. 115–126. DOI: 10.18721/JCSTCS.12410.
2. Соколов А. М. Современные модели обнаружения аномалий в компьютерных системах // Кибернетика и вычислительная техника. 1999. Вып. 123. С. 1-18.
3. Успенский М. Б. Разработка и исследование методов и моделей обработки диагностической информации для обнаружения и локализации неисправностей в системах хранения данных. диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.01. Санкт-Петербург, 2020.
4. Котенко И. В., Нестерук Ф. Г., Чечулин А. А. Комбинирование механизмов обнаружения сканирования в компьютерных сетях // Вопросы защиты информации. 2011. № 3. С. 30–34. EDN: OOSUJJ.

Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем кафедры ЗСС СПбГУТ А. Ю. Цветковым.

УДК 004.056

МОНИТОРИНГ БЕЗОПАСНОСТИ В 6G-СЕТЯХ: ОЖИДАЕМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И РОЛЬ SIEM

Р. Г. Шарифов (студент группы МЗС-2511, СПбГУТ), sharifov.rg@sut.ru
С. И. Штеренберг (к.т.н., доцент, доцент кафедры ЗСС, СПбГУТ)

Статья рассматривает требования к мониторингу безопасности в будущих 6G-сетях и подчеркивает роль систем SIEM. Обсуждаются работа с разнородной телеметрией, нормализация данных, корреляция событий, непрерывное наблюдение и обеспечение полноты информации. Отмечается, что SIEM обеспечивает целостное представление инцидентов, объединяя события из разных уровней инфраструктуры, что особенно важно в распределенной и высоконагруженной среде 6G.

6G, мониторинг безопасности, SIEM, телеметрия, корреляция событий, распределенные сети

SECURITY MONITORING IN 6G NETWORKS: EXPECTED REQUIREMENTS AND THE ROLE OF SIEM

Sharifov R., Shterenberg S.
 The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines security monitoring requirements in future 6G networks and emphasizes the role of SIEM systems. It discusses working with heterogeneous telemetry, data normalization, event correlation, continuous monitoring, and ensuring information completeness. SIEM provides a comprehensive view of incidents by consolidating events from different infrastructure levels, which is especially important in a distributed and high-load 6G environment.

Key words: 6G, security monitoring, SIEM, telemetry, event correlation, distributed networks

Развитие сетей связи нового поколения делает тему мониторинга безопасности все более актуальной. Хотя 6G пока не стало зрелой и массовой технологией, уже сейчас понятно, что будущая сетевая среда будет более сложной, распределенной и насыщенной цифровыми сервисами, чем существующие системы связи. В таких условиях вопросы безопасности нельзя сводить только к защите отдельных узлов или каналов передачи данных. Все большее значение приобретает постоянное наблюдение за состоянием инфраструктуры, событиями безопасности и признаками возможных нару-

шений [1]. Цель данной статьи состоит в том, чтобы рассмотреть, какие требования уже сегодня можно ожидать к мониторингу безопасности в 6G-сетях, и показать, какую роль в решении этой задачи могут играть системы управления информацией и событиями безопасности.

Актуальность этой темы связана с тем, что будущие сети рассматриваются не просто как более быстрые каналы передачи данных. Речь идет о более сложной цифровой среде, где сочетаются связь, вычисления, программно управляемые сервисы, большое число подключенных устройств и высокая плотность обмена данными. Это означает, что растет и число потенциальных точек наблюдения, и число ситуаций, в которых нарушение безопасности может проявляться не в одном месте, а сразу на нескольких уровнях. Если в относительно простой инфраструктуре инцидент можно было заметить по одному локальному признаку, то в более сложной среде его картина складывается из набора разнородных событий, которые нужно собирать и сопоставлять между собой [2].

По этой причине мониторинг безопасности в 6G логично рассматривать как задачу работы с большой и неоднородной телеметрией. Будущая сеть будет включать не только сетевые элементы в обычном понимании, но и прикладные сервисы, средства управления доступом, периферийные вычислительные узлы, виртуализированные платформы и устройства интернета вещей. Каждый такой уровень формирует собственные события. Одни отражают сетевые отклонения, другие показывают ошибки доступа, третьи фиксируют нарушения в работе сервисов или среды исполнения. В результате задача мониторинга уже не может сводиться к простому накоплению журналов. Необходима система, которая позволит увидеть взаимосвязь между событиями и выделить из общего потока действительно значимые признаки инцидента [3].

Именно в этой логике следует рассматривать SIEM. Под SIEM обычно понимают систему, которая собирает события безопасности из разных частей инфраструктуры, объединяет их и подготавливает для последующего анализа. Применительно к будущим сетям это означает, что SIEM выступает как общий аналитический уровень, на котором разрозненные события преобразуются в целостную картину происходящего. Как показано на рис. 1, SIEM обеспечивает переход от разнородных источников телеметрии к формированию целостной картины событий безопасности и выявлению инцидента за счет последовательной агрегации и обработки событий, их нормализации и последующей корреляции.

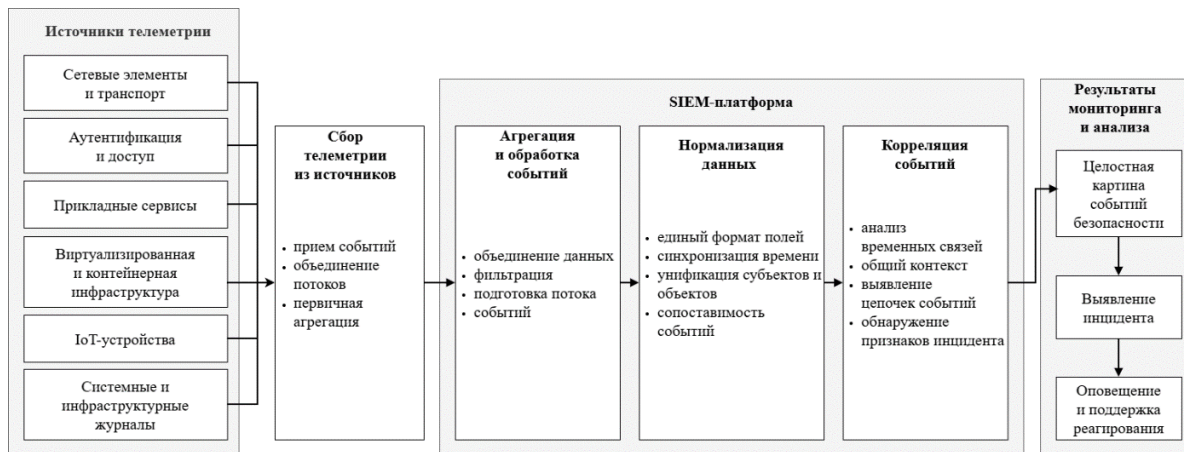


Рис. 1. Роль SIEM в мониторинге безопасности 6G-сети

Такая система не заменяет источники событий и не подменяет собой другие средства защиты, но позволяет объединять данные из разных сегментов инфраструктуры, приводить их к сопоставимому виду и выявлять связи между отдельными признаками инцидента. Для сложной и распределенной сети это особенно важно, поскольку одно и то же нарушение может проявляться одновременно как сетевое отклонение, как серия отказов доступа и как сбой в сервисной части инфраструктуры [4].

Такой подход хорошо согласуется с российской нормативной базой. ГОСТ Р 59547-2021 рассматривает мониторинг информационной безопасности как постоянное наблюдение за событиями безопасности и связывает его с обработкой данных, их нормализацией, агрегацией и корреляцией. ГОСТ Р 59548-2022 задает требования к регистрируемой информации о событиях безопасности, то есть фактически определяет, какими должны быть данные, на которых строится последующий анализ. В совокупности эти документы позволяют говорить о мониторинге безопасности не как о наборе разрозненных технических действий, а как о системной работе с событиями, их качеством и их связями. Поэтому обсуждение роли SIEM в будущих сетях вполне укладывается в уже существующую отечественную нормативную логику.

Одним из главных требований к мониторингу безопасности в 6G можно считать поддержку разнородных источников данных. События будут поступать из разных сегментов инфраструктуры, и поэтому система мониторинга должна учитывать не только классические системные журналы, но и сетевую, прикладную и инфраструктурную телеметрию. Без этого часть инцидентов будет оставаться видимой только фрагментарно. Например, сетевое отклонение само по себе может показаться кратковременным сбоем, но в сочетании с серией ошибок аутентификации и с нарушением работы

сервиса оно уже выглядит как признак более серьезного происшествия. Чем сложнее сеть, тем меньше ценность отдельных событий вне общего контекста. Именно поэтому для будущих сетей так важна работа с множеством источников наблюдения [5].

Не менее важным требованием является нормализация событий. В распределенной среде проблема заключается не только в объеме данных, но и в их несопоставимости. Разные компоненты фиксируют события по-разному. Они используют разные поля, разные форматы времени, разные обозначения субъектов и объектов. Если такие сообщения поступают в систему без приведения к общей форме, то последующая аналитика становится неполной. Поэтому для мониторинга безопасности в 6G особенно важно не просто собирать данные, а приводить их к единому представлению. Только в этом случае становится возможным корректное сопоставление сетевых, системных и прикладных событий. Это напрямую связано и с качеством регистрации событий безопасности, которое уже закреплено в российских стандартах.

Следующее требование связано с корреляцией событий из разных уровней инфраструктуры. В будущей сети инцидент может развиваться как цепочка взаимосвязанных проявлений. Сначала возникает аномалия в трафике, затем фиксируются отклонения в доступе, после этого появляются признаки нарушения в приложении или в виртуализированной среде. Если каждое из этих событий анализируется отдельно, то картина остается разорванной. Если же система связывает их во времени и по общему контексту, то появляется возможность вовремя заметить инцидент и понять его развитие. В этом и состоит одна из главных задач SIEM в сложной сетевой среде. Она должна не только хранить данные, но и показывать взаимосвязь между событиями, которые на первый взгляд относятся к разным частям инфраструктуры [6].

Для 6G также логично ожидать усиления роли непрерывного мониторинга. В распределенной цифровой среде недостаточно периодически просматривать журналы или анализировать события только после явного сбоя. Значение приобретает постоянное наблюдение за состоянием защищенности и за изменениями, которые могут указывать на рост риска. Чем быстрее система получает события и чем быстрее они анализируются, тем выше вероятность своевременно заметить развивающийся инцидент. Это особенно важно для среды, где большое число сервисов и узлов работают одновременно и тесно связаны между собой. В такой ситуации даже небольшой

сбой или нарушение доступа может быстро повлиять на другие компоненты, если его вовремя не распознать.

Отдельного внимания заслуживает вопрос полноты и достоверности телеметрии. Практическая ценность мониторинга определяется не количеством записей как таковым, а тем, насколько надежно они отражают реальное состояние инфраструктуры. Если часть узлов не охвачена наблюдением, если события фиксируются не полностью или если записи не содержат нужного контекста, то даже развитая аналитическая система не сможет построить достоверную картину инцидента. В будущих сетях это будет особенно заметно, поскольку высокая распределенность увеличивает риск появления слепых зон, в которых нарушения остаются вне поля зрения. Поэтому качество телеметрии следует рассматривать как одно из ключевых условий эффективности SIEM в 6G-среде. Этот вывод согласуется и с требованиями к регистрации событий безопасности, закрепленными в российских стандартах.

Среди классов событий, наиболее важных для такой среды, в первую очередь следует выделить события аутентификации и доступа, поскольку в условиях большого числа устройств и сервисов они часто становятся ранним признаком нарушения безопасности. Существенное значение также имеют сетевые аномалии и признаки атак на доступность, а также события виртуализированной и контейнерной инфраструктуры, включая контейнерные среды, образы, реестры и средства управления развертыванием.

Российский нормативный контекст уже сегодня позволяет достаточно предметно рассматривать эти вопросы. Стратегия развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года задает общий фон развития телекоммуникационной инфраструктуры, а ГОСТ Р 59547-2021, ГОСТ Р 59548-2022 и методика оценки угроз безопасности информации ФСТЭК России определяют базовые подходы к мониторингу, регистрации и анализу событий безопасности. В совокупности это создает основу для прикладного разговора о мониторинге безопасности будущих сетей.

Таким образом, хотя 6G пока находится на стадии исследований и формирования требований, уже сейчас можно обозначить основные ориентиры для мониторинга безопасности в такой среде. К ним относятся работа с разнородными источниками телеметрии, нормализация данных, корреляция событий, непрерывное наблюдение и обеспечение полноты и достоверности событийной информации. В этих условиях SIEM следует рассматривать как один из ключевых механизмов, который помогает объединять события

из разных сегментов сети и формировать целостное представление об инциденте. Его роль в 6G связана не с простым накоплением журналов, а с построением связной и понятной картины происходящего в распределенной инфраструктуре связи.

Список используемых источников

1. Логинов А. Е. Эффективность перехода в России на следующий уровень стандарта телекоммуникаций // Россия в глобальном мире. 2023. Т. 26. Вып. 4. С. 178-190. DOI: 10.48612/rg/RGW.4.11 EDN: AWJTTK.
2. Петров И. А. Безопасность физического уровня для сетей 5G/6G // Вопросы кибербезопасности. 2023. № 3(55). С. 101-113. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-3-101-113 EDN: PVKYPH.
3. Исаева О. С., Кулясов Н. В., Исаев С. В. Создание инструментов сбора данных для анализа аспектов безопасности Интернета вещей // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2022. № 3(27). С. 113-125. DOI: 10.38028/ESI.2022.27.3.011 EDN: UKFFWD.
4. Исхаков А. Ю., Исхаков С. Ю. Повышение эффективности систем защиты информации с помощью категоризации событий безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. № 2(30). С. 152-164. DOI: 10.25729/ESI.2023.30.2.015 EDN: TJUBZ.
5. Попов А. Д., Никитенко А. Н. Принципы сбора данных для построения защищенной инфраструктура предприятия на базе SIEM систем // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024. Т. 51. № 1. С. 173-179. DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-173-179 EDN: FFHLRP.
6. Левшун Д. А. Модель комбинированного применения интеллектуальных методов корреляции событий информационной безопасности // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2022. Т. 65. № 11. С. 833-841. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-11-833-841 EDN: SZCWDB.

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры ЗСС СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом С. И. Штеренбергом.

УДК 4.056

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

У. А. Швыдко (магистрант группы МЗС-2512), shvydko.ua@sut.ru

В статье рассматривается вопрос применения цифровых двойников для решения задач информационной безопасности сетей передачи данных. Предложено дополнить стандартные требования к ЦД функцией активной защиты путем реализации метода легендирования. Предложен метод использования сетевых элементов ЦД в качестве ложных объектов для отвлечения и нейтрализации несанкционированных информационных потоков, что позволит повысить живучесть и киберустойчивость сетевой инфраструктуры.

цифровой двойник, защищенная сеть, информационная безопасность, легендирование, ложная ЛВС, кибератаки

EXPANDING THE FUNCTIONALITY OF DIGITAL TWINS TO ENSURE THE INFORMATION SECURITY OF DATA TRANSMISSION NETWORKS

Shvydko U.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article examines the application of digital twins (DTs) to address information security challenges in data transmission networks. It proposes augmenting standard DT requirements with an active defense function, implemented through a "legending" (deception/cloaking) method. A technique is presented for utilizing DT network elements as decoy objects to divert and neutralize unauthorized information flows, thereby enhancing the survivability and cyber-resilience of network infrastructure.

Key words: digital twin, secure network, information security, cover story/masquerading, decoy LAN, cyberattacks

Технология цифровых двойников (ЦД) находит широкое применение в области развития сетей передачи данных (СПД), открывая возможности для создания виртуальных копий физических объектов сети с целью их анализа, прогнозирования состояния и оптимизации работы. Специфика СПД, в отличие от ЦД, используемых в иных технологических сферах, заключается в том, что они функционируют в условиях постоянных деструктивных воздействий на элементы СПД и сеть в целом. Выполняя задачи по обеспечению конфиденциальности, целостности и доступности информации, СПД

подвержены рискам со стороны нарушителя, чьи действия (как целенаправленные, так и случайные) способны нанести прямой или косвенный ущерб информационной безопасности (ИБ).

Достижение заданных требований по обеспечению конфиденциальности, целостности и доступности информации, экономической эффективности и конкурентоспособности СПД невозможно без перехода на новый технологический уровень. Таким уровнем становится цифровая трансформация, реализуемая через создание ЦД, которые аккумулируют в себе ключевые процессы, модели и алгоритмы функционирования сети. Подобная трансформация, в свою очередь, требует выработки новых концептуальных взглядов на решение данной задачи.

Основополагающим принципом нового подхода к проектированию цифровых двойников сетей передачи данных является смена парадигмы: физическая сеть СПД должна рассматриваться как полномасштабная реализация ее цифрового двойника. Подобная инверсия взглядов трансформирует роль ЦД, из пассивного инструмента моделирования он превращается в активный аппаратно-программный компонент сети связи, непосредственно участвующий в обеспечении информационной безопасности (рисунок 1).

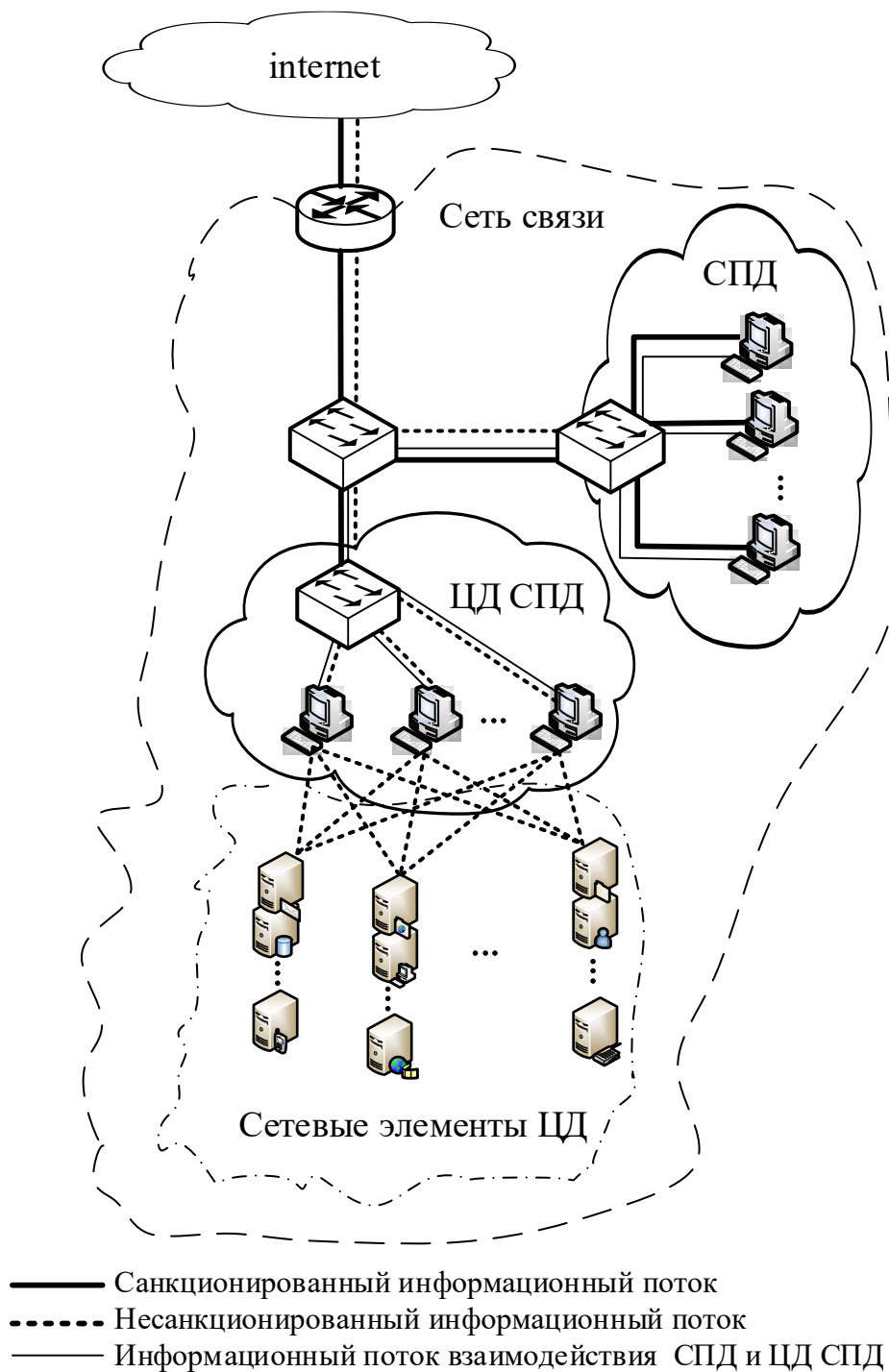


Рис. 1. Метод использования сетевых элементов ЦД в качестве ложных объектов

В ходе работы выполнен предварительный анализ целей, задач, а также базового профиля требований (технических, функциональных и интеграционных), определяющих основу для создания ЦД СПД [1, 2].

Установлено, что технические требования к ЦД СПД формируются на базе требований, предъявляемых к физической сети. Так же ЦД должен

быть реализован в виде программно-аппаратного комплекса, функционирующего на принципах вертикальной и горизонтальной интеграции компонентов. Такой комплекс включает цифровую, компьютерную и математическую модели СПД, а также обеспечивает двусторонний информационный обмен с объектом и его составными элементами [2].

Ключевым условием адаптивности является применение ЦД на всех этапах жизненного цикла с его модификацией под задачи каждого этапа [3]. В этом контексте появление любых новых технологий закономерно влечет за собой формирование дополнительных требований, направленных на расширение функционала и ЦД, и СПД, что полностью согласуется с их развитием на каждом этапе жизненного цикла.

В работе предложены дополнительные требования ЦД СПД, необходимые для повышения уровня информационной безопасности. В частности, предлагается дополнить существующий базовый профиль требований положением об использовании сетевых элементов ЦД в качестве ложных объектов. Таким образом сетевые элементы ЦД формируя ложную ЛВС должны имитировать структуру реальной ЛВС и реализовывать легендирование информационных ресурсов для взаимодействия с несанкционированными потоками данных с учетом расположения источников угроз [3].

Реализация предлагаемого метода осуществляется путем применения методов легендирования непосредственно средствами цифрового двойника. Суть подхода заключается в предоставлении нарушителю искаженных сведений о характере и предназначении защищаемого объекта: сам факт наличия объекта не скрывается, однако его истинное предназначение и функциональная направленность маскируются.

Принятие условия, согласно которому ЦД представляет собой строгую последовательность информационных ресурсов, с высокой точностью имитирующую реальную СПД, открывает следующие функциональные возможности.

Выполняется моделирование кибератак для оценки того, как изменения в сетевой структуре отражаются на ее параметрах, а также проводится независимый анализ поведения злоумышленника, при случайных или намеренных действиях направленных на защищенную систему. На основе результатов такого моделирования и поведенческих метрик формируется прогноз возможных действий нарушителя и вычисляется вероятный ущерб. Это позволяет принимать обоснованные решения за счет оперативного контроля вносимых изменений в незаконные информационные каналы, выстраивания

взаимодействия центра доверия с их источниками с учетом их местоположения в сети, а также использования ложной коммуникационной среды и метода порядка предоставления ресурсов. При этом сам центр доверия применяется для аудита защищенности без привлечения мощностей существующей защищенной системы.

Следовательно, внедрение предложенного метода вместе с дополнительными требованиями к его применению позволит достичь ожидаемого результата – усилить уровень защищенности системы. Данный метод, который строится на использовании сетевых элементов ЦД в роли имитаторов (фальшивых объектов) и внедрении легендирования (за счет создания множества легенд для взаимодействия с нелегальными информационными каналами с привязкой к сетевому расположению их источников), также дает возможность усовершенствовать структуру системы защиты и сократить расходы на разработку специализированных имитаторов.

Список используемых источников

1. Кузьмин А. Д. Анализ требований к цифровому двойнику технически сложного изделия // Вестник науки. 2024. № 3 (72). Т. 3. С. 411-415. URL: <https://www.vestnik-nauki.pf/article/13400>. EDN: MERJZR.
2. ГОСТ Р 57700.37-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 10 с.
3. Патент № 2814463 С1 Российская Федерация, МПК G06F 21/55. способ защиты вычислительных сетей на основе легендирования: № 2023120277: заявл. 02.08.2023: опубл. 28.02.2024 / В. В. Бухарин, С. Ю. Карайчев, [и др.]; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации. EDN QLPDOV.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры ИБКС СПбГУТ Р. М. Ковалевым.

СОЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОНОМИКА ДАННЫХ

УДК 659.4

НЕИДЕАЛЬНОСТЬ КАК СТРАТЕГИЯ: ИИ-КОНТЕНТ И ДОВЕРИЕ АУДИТОРИИ В VK

И. И. Абдали (студент группы РСО-2511, СПбГУТ), abdalin.ii@sut.ru
Д. В. Шутман (к.п.н., доцент, декан факультета СТЭД)

В статье рассматривается, зачем бренды намеренно используют «неидеальный» ИИ-контент. На примере LADA и EPICA проанализированы две стратегии: глитч-эстетика и ретро-стилизация. Показано, что видимые артефакты генерации и стилизация под старые форматы воспринимаются аудиторией как признаки честности и помогают брендам вызывать доверие.

искусственный интеллект, ИИ-контент, доверие, аутентичность бренда, глитч, ретро-стилизация, VK

STRATEGIES OF «ARTIFICIAL IMPERFECTION» IN AI-GENERATED CONTENT AS A TOOL FOR BUILDING TRUST (BASED ON RUSSIAN BRAND COMMUNITIES IN VK)

Abdalin I., Shutman D.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines why brands deliberately use “imperfect” AI-generated content. Using the examples of LADA and EPICA, two strategies are analyzed: glitch aesthetics and retro stylization. It is shown that visible generation artifacts and stylization for old media formats are perceived by audiences as signs of honesty and help brands build trust.

Key words: artificial intelligence, AI-generated content, trust, brand authenticity, glitch, retro stylization, VK

Когда нейросети стали доступны каждому, казалось, что рекламный контент наконец-то станет идеальным. Но вышло иначе. Идеальные картинки и видео вызывают у зрителей ощущение «пластмассовости» и фальши. По данным опроса AdIndex (2026), 56 % россиян [1] теряют доверие к бренду, если понимают, что реклама сделана нейросетью. При этом некоторые компании нашли неожиданный выход – они перестали скрывать

«шероховатости» и даже начали их подчеркивать. В этой статье анализируется, как два российских бренда – LADA и EPICA – используют намеренно несовершенный ИИ-контент, чтобы казаться более живыми и честными. Объект работы – коммуникации брендов в VK, предмет – стратегии «искусственной неидеальности» как инструмент доверия. Цель – выделить конкретные приемы на примере реальных кейсов и понять, как на них реагирует аудитория.

В основе статьи лежат несколько идей. Во-первых, доверие, по Никласу Луману [2], – это способ снизить сложность мира, когда у человека нет времени или возможности все проверять самому. Во-вторых, в цифровой среде аутентичность часто ценится выше качества: потребители готовы простить несовершенство, если чувствуют, что бренд не пытается их обмануть. Гилмор и Пайн [3] писали, что «подлинность» становится главной валютой в экономике впечатлений. Применительно к ИИ-контенту это означает: бренду выгоднее показать, как нейросеть «сбоит», чем выдавать сгенерированное за настоящее.

Был проведен контент-анализ публикаций двух брендов в официальных сообществах VK. У LADA была взята публикация с творческим конкурсом (апрель 2026). Бренд не только сам выкладывал изображения, сгенерированные нейросетями, но и предлагал подписчикам участвовать, поощряя творчество с видимыми артефактами. У EPICA проанализированы 3 карусели с ИИ-видео: первая вышла в сентябре 2025 года (глитч-эстетика), вторая – в октябре-ноябре 2025 года, приуроченная к Хеллоуину (смешение глитча и ретро). Анализовались визуальные приемы (наличие и характер «неидеальностей») и реакция аудитории в комментариях и реакциях.

В итоге были выделены два основных типа «искусственной неидеальности», которые бренды используют осознанно.

Первый тип – глитч-эстетика. Это когда на картинке или видео остаются «сбои» нейросети: лишние пальцы, неестественные пропорции, разрывы форм, странные текстуры. У LADA в публикации о конкурсе и в фирменных постах такие артефакты не ретушируются, а становятся частью визуального языка. Аудитория в комментариях активно принимает участие в конкурсе. Подавляющее большинство конкурсных работ выполнены с использованием генеративных нейросетей. На многих изображениях даже оставляют водяные знаки соответствующих сервисов. Ровно также оставляют и шероховатости, артефакты генерации. Люди в комментариях не раздражаются или злятся, а активно принимают участие и выражают любовь к работам других участников – это говорит о том, что глитч воспринимается

как маркер открытости. У EPICA этот тип ярче всего видно в первой акции (сентябрь 2025 г.). EPICA успешно адаптировали под свой продукт тренд на шуточную демонстрацию новых продуктов, название и идея которых были разработаны и визуализированы с помощью искусственного интеллекта. Аудитории было предложено предположить, каким бы на вкус оказался йогурт со вкусом лавы. Реакция была крайне положительной. Далеко не последнюю роль в этом сыграла маркировка ИИ-контента и шероховатый, содержащий артефакты генерации стиль.

Второй тип – ретро-стилизация. Это как имитация старых, «несовершенных» медиа: пленочное зерно, низкое разрешение, налет времени, эффект дрожания видеокамеры, так и использование персонажей, ставших уже знаковыми и культовыми. В 2025 году EPICA публиковала карусели ИИ-роликов в преддверии Хеллоуина, бренд добавил к ретро-эффектам еще и глитч-артефакты (неестественная физика объектов). К своей продукции бренд добавил культовых персонажей, таких как доброе приведение Каспер и клоун Стивена Кинга Пеннивайз. Эти ролики собрали значительно больше лайков и репостов, чем обычные посты EPICA. Ретро-стилизация сработала как якорь ностальгии, а глитч добавил иронии.

Проведенная работа показала, что глитч-эстетика и ретро-стилизация – это не ошибки генерации, а полноценные коммуникативные приемы.

Бренды LADA и EPICA используют их, чтобы перестать быть «бездушными алгоритмами» и показать себя живыми участниками диалога. Аудитория, в свою очередь, ценит такую честность: видимые шероховатости считаются как доказательство того, что бренд ничего не скрывает. Для SMM-специалистов это прямой сигнал: не нужно бояться ИИ-артефактов, их можно и нужно обыгрывать. В перспективе стоит измерить количественно, насколько сильнее доверяют бренду после публикации «неидеального» контента, а также расширить выборку на другие отрасли.

Список используемых источников

1. Okkam Creative. Больше половины пользователей теряют доверие к бренду из-за ИИ-рекламы // AdIndex: 2026. 12 Feb. URL: <https://adindex.ru/news/digital/2026/02/12/342400.phtml> (дата обращения: 04.04.2026).
2. Луман Н. Доверие и власть. М.: Логос, 2015.
3. Gilmore J. H., Pine B. J. The Authenticity Economy // Harvard Business Review. 2007. Vol. 85. N 11.

УДК 339.137.2

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ КОНКУРЕНТНОГО ПРЕИМУЩЕСТВА В ИНФОРМАЦИОННО-НАСЫЩЕННЫХ СФЕРАХ

О. В. Волчик (к.э.н., старший преподаватель кафедры ЭД, СПбГУТ)

Я. И. Гончарова (студент группы БИ-41м, СПбГУТ) goncharova.yi@sut.ru

В. В. Макаров (д.э.н., профессор кафедры ЭД, СПбГУТ)

Статья исследует обосновывает необходимость разработки современных методических подходов к анализу конкурентных преимуществ организаций, функционирующих в условиях высокой информационной насыщенности и динамичных технологических изменений. Целью исследования является обоснование теоретико-методических основ анализа структуры конкурентных преимуществ организаций в информационно-насыщенной среде и разработка системы показателей их оценки.

конкуренция, конкурентное преимущество, информационное общество

ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF COMPETITIVE ADVANTAGE IN INFORMATION-RICH AREAS

Volchik O., Goncharova Y., Makarov V.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article explores the need to develop modern methodological approaches to the analysis of competitive advantages of organizations operating in conditions of high information saturation and dynamic technological changes. The purpose of the study is to substantiate the theoretical and methodological foundations for analyzing the structure of competitive advantages of organizations in an information-rich environment and to develop a system of indicators for their assessment.

Key words: *competition, competitive advantage, information society*

Современное развитие мировой экономики характеризуется ускоренными процессами цифровизации, активным внедрением информационно-коммуникационных технологий и ростом значимости информационных ресурсов в хозяйственной деятельности организаций. В условиях цифровой трансформации информация становится ключевым фактором создания экономической ценности, а способность компаний эффективно работать с данными и цифровыми технологиями во многом определяет их конкурентоспособность на рынке.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки современных методических подходов к анализу конкурентных преимуществ организаций, функционирующих в условиях высокой информацион-

ной насыщенности и динамичных технологических изменений. Целью является обоснование теоретико-методических основ анализа структуры конкурентных преимуществ организаций в информационно-насыщенной среде и разработка системы показателей их оценки.

Категория «конкурентное преимущество» занимает центральное место в современной теории стратегического управления и конкурентоспособности организаций. В экономической литературе конкурентное преимущество рассматривается как устойчивое превосходство компании над конкурентами, обеспечивающее более эффективное использование ресурсов и достижение лучших экономических результатов.

Формирование конкурентных преимуществ является сложным и многофакторным процессом, включающим взаимодействие внутренних ресурсов организации, ее управленческих компетенций и внешних факторов конкурентной среды. Систематизация научных подходов позволяет выделить несколько основных видов конкурентных преимуществ, различающихся по источникам формирования и характеру проявления. Основные виды конкурентных преимуществ представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Виды конкурентных преимуществ

Современные исследования показывают, что в условиях цифровой экономики структура конкурентных преимуществ существенно трансформируется [1]. Если в индустриальной экономике доминирующее значение имели материальные ресурсы и производственные мощности, то в цифровой среде

ключевыми источниками конкурентоспособности становятся информационные ресурсы, технологии обработки данных и интеллектуальный капитал.

Теоретическую основу анализа конкурентных преимуществ составляют ресурсный и компетентностный подходы. Ресурсный подход рассматривает конкурентные преимущества как результат обладания уникальными ресурсами, обладающими ценностью, редкостью и трудностью имитации [2]. Компетентностный подход, в свою очередь, акцентирует внимание на способности организации эффективно использовать имеющиеся ресурсы посредством развития знаний, навыков и управленческих компетенций.

В условиях информационно-насыщенной среды данные подходы приобретают особую значимость, поскольку именно способность организации к эффективному управлению информационными ресурсами и развитию цифровых компетенций персонала становится ключевым фактором устойчивых конкурентных преимуществ [3].

Информационно-насыщенные сферы представляют собой совокупность отраслей и видов экономической деятельности, в которых информация выступает основным фактором производства, управления и создания добавленной стоимости.

Функционирование данных сфер обладает рядом специфических особенностей:

- высокая технологическая динамичность;
- интенсивные информационные потоки;
- преобладание интеллектуального труда;
- широкое использование цифровых платформ;
- нематериальный характер значительной части продукции и услуг.

Данные особенности оказывают существенное влияние на формирование конкурентных преимуществ организаций. В условиях высокой информационной насыщенности ключевыми факторами конкурентоспособности становятся скорость обработки информации, уровень технологической инновационности и способность компании адаптироваться к изменениям цифровой среды.

Для более глубокого анализа факторов конкурентоспособности предложена структурная модель конкурентного преимущества, основанная на системном подходе. В рамках данного подхода конкурентное преимущество рассматривается как совокупность взаимосвязанных компонентов, обеспечивающих устойчивость рыночных позиций организации [4].

В структуре конкурентного преимущества выделяются пять ключевых элементов:

- физический компонент;

- информационный компонент;
- технологический компонент;
- когнитивный компонент;
- организационно-управленческий компонент.

Проведенный анализ показывает, что в условиях цифровизации доминирующее значение приобретают информационный, технологический и когнитивный компоненты.

Анализ конкурентных преимуществ организаций в информационно-насыщенных сферах требует использования комплексного набора аналитических методов. На рисунке 2 представлена классификация методов анализа конкурентных преимуществ.

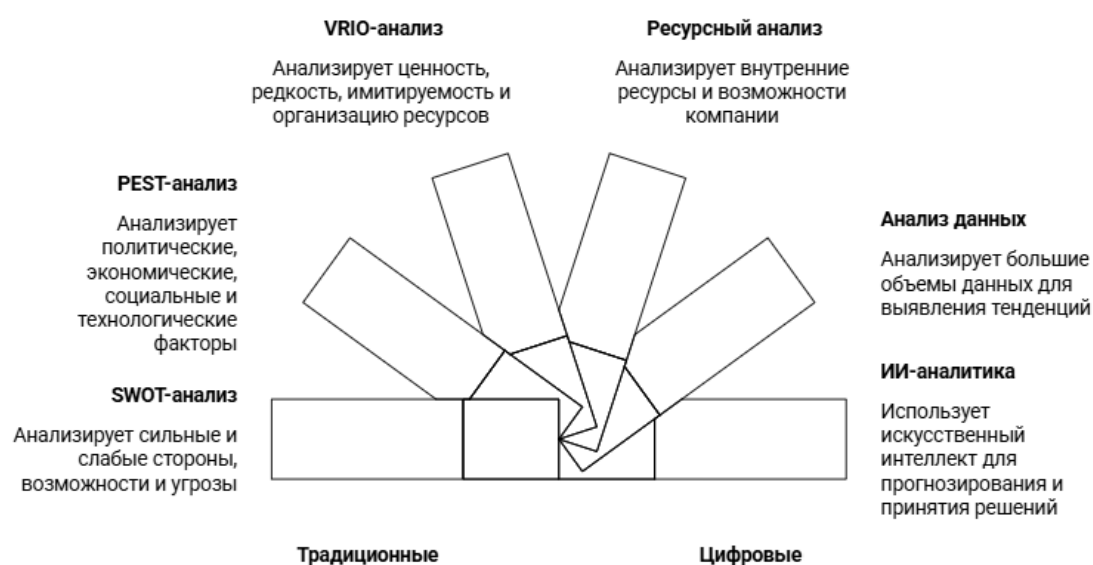


Рис. 2. Методы конкурентного анализа, от традиционных до цифровых

Для обеспечения системности анализа разработан алгоритм анализа структуры конкурентного преимущества. Алгоритм включает последовательность взаимосвязанных этапов:

- анализ внешней цифровой среды;
- анализ внутреннего ресурсного потенциала;
- анализ взаимосвязей элементов структуры;
- оценка устойчивости конкурентных преимуществ;
- формирование управленческих рекомендаций.

Использование данного алгоритма позволяет обеспечить комплексную оценку факторов конкурентоспособности организации.

Важным элементом также является формирование системы показателей оценки конкурентных преимуществ. В рамках исследования предлагается группа показателей, отражающих различные аспекты деятельности организации. К ним относятся:

- инновационные – уровень внедрения технологий;
- технологические – степень автоматизации процессов;
- информационные – качество обработки данных;
- кадровые – уровень компетенций персонала;
- рыночные – доля рынка и лояльность клиентов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в условиях цифровой экономики ключевыми источниками конкурентных преимуществ становятся информационные ресурсы, технологии обработки данных и человеческий капитал. Комплексный анализ данных факторов позволяет более точно оценивать конкурентоспособность организаций и разрабатывать эффективные стратегии их развития.

Список используемых источников

1. Пржедецкая Н. В., Кулькова Е. П., Шевелева В. В. Влияние современных информационных технологий на конкурентоспособность фирмы на рынке. URL: <https://gsen.sfedu.ru/pdf/2018/05/027-rus.pdf> (дата обращения: 15.03.2026).
2. Антосик Л. В. Информация как ресурс и источник конкурентного преимущества // Вестник ВолГУ. Серия 9: Исследования молодых ученых. 2005. № 4-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsiya-kak-resurs-i-istochnik-konkurentnogo-preimuschestva> (дата обращения: 02.03.2026). EDN: MWBORX.
3. Куприянова Л. М., Ефимова О. Н. Информационное общество: современный этап развития новой экономики // Мир новой экономики. 2014. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnoe-obschestvo-sovremennyy-etap-razvitiya-novoy-ekonomiki> (дата обращения: 02.04.2026). EDN: TTIDUP.
4. Фатхутдинова Дж. Обзор методов анализа конкурентов, включая сравнительный анализ и анализ «пяти сил» Портера // Unisender. URL: <https://www.unisender.com/ru/glossary/chto-takoe-analiz-konkurentov/> (дата обращения: 15.03.2026).
5. Виханский О. С., Каталевский Д. Ю. Конкурентное преимущество в эпоху цифровизации // Российский журнал менеджмента. 2022. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konkurentnoe-preimuschestvo-v-epohu-tsifrovizatsii> (дата обращения: 15.03.2026). DOI: 10.21638/spbu18.2022.101 EDN: JBXPYI.
6. Строкатов Д. А. Информационно-коммуникационные технологии как конкурентное преимущество с точки зрения скандинавской школы конкурентоспособности // Вестник УрФУ. 2019. Том 18. № 1. С. 27-47. DOI: 10.15826/vestnik.2019.18.1.002 EDN: YYMFON.

УДК 339.9

PHILIPS КАК HEALTH-TECH ЛИДЕР: ПУТЬ К ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЕ ЧЕРЕЗ СКВОЗНУЮ ЦИФРОВИЗАЦИЮ

В. И. Гайпель (студент гр. М-2511, СПбГУТ), gaipel.vi@sut.ru

В работе представлен анализ транснациональной корпорации Royal Philips N.V. как лидера в области Health-Tech, реализующего переход к персонализированной медицине на основе сквозной цифровизации. Рассмотрены основные характеристики компании: стратегия управления, степень транснационализации и конкурентные позиции. Проведенный анализ позволяет определить, за счет каких механизмов и управленческих решений компания удерживает лидерские позиции в высококонкурентной глобальной среде.

транснациональная корпорация, Health-Tech, персонализированная медицина, цифровые технологии, гибридная стратегия

PHILIPS AS A HEALTH-TECH LEADER: THE PATH TO PERSONALIZED MEDICINE THROUGH CROSS-CUTTING DIGITALIZATION

Gaipel V.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This study presents an analysis of the transnational corporation Royal Philips N.V. as a leader in health technology, implementing the transition to personalized medicine through end-to-end digitalization. The company's key characteristics, management strategy, degree of transnationalization, and competitive position are examined. This analysis allows us to determine the mechanisms and management decisions that enable the company to maintain its leadership position in a highly competitive global environment.

Key words: transnational corporation, Health-Tech, personalized medicine, digital technologies, hybrid strategy

Исторически компания Philips начинала свой путь с производства лампочек, а затем стала одним из мировых лидеров в бытовой электронике (радиоприемники, телевизоры, компакт-диски). Рынок менялся: потребители все чаще выбирали не традиции, а цену и удобство, а китайские и корейские производители были готовы предложить и то, и другое. Philips продолжала вкладываться в исследования и разработки. Однако десятки проектов, сотни патентов или не доходили до рынка, или оказывались невостребованными.

Проект CD-i, который должен был затмить PlayStation, провалился. Интерактивные телевизоры с интернетом появились задолго до того, как к ним был готов рынок. К началу 2000-х годов Philips приняла стратегическое решение: не выживать любой ценой, а перераспределить ресурсы, продав те направления, где она больше не могла быть первой. Полупроводниковый бизнес ушел в отдельную компанию NXP, производство осветительной техники – в компанию Signify, телевизионный бизнес был продан китайской TPV Technology, а в 2021 году продала подразделение бытовой техники фонду Hillhouse Capital. Сегодня Royal Philips NV является мировым лидером в области медицинских технологий: МРТ, КТ, рентгеновские системы, ультразвуковые аппараты – это та сфера, где инновационный потенциал раскрылся в полной мере. Кофеварки, пылесосы и лампочки с логотипом Philips, представленные в магазинах, выпускаются по лицензии, что подтверждает жизнь бренда в новой, более эффективной экосистеме.

Современный этап развития Philips характеризуется глобальным присутствием более чем в ста странах. Ключевым рынком является Северная Америка, на которую приходится около 40 % выручки, прежде всего – США. В Европе компания активно работает в Нидерландах (страна базирования), Великобритании, Германии, Франции, Италии, Испании, Швейцарии, России, Дании, Швеции. В Азиатско-Тихоокеанском регионе компания представлена в Китае, Индии, Японии, Южной Корее, Австралии, Сингапуре, Таиланде. В Латинской Америке – в Бразилии, Аргентине, Мексике, Колумбии, Чили, Уругвае, Парагвае. На Ближнем Востоке и в Африке – в ОАЭ, Саудовской Аравии, ЮАР, Израиле. Производственные и научно-исследовательские мощности размещены по всему миру с адаптацией к локальным рынкам. Ключевые логистические и производственные хабы расположены в Китае, Индонезии и Нидерландах. Большая часть персонала (около 78 % – примерно 61 500 сотрудников) находится за рубежом, однако Philips остается одним из ключевых работодателей в Нидерландах, предоставляя рабочие места около 17 000 человек, которые заняты в основном в управленческих, научно-исследовательских и инновационных подразделениях. Штаб-квартира и основные центры исследований и разработок (R&D) расположены в Нидерландах. Инвестиции компании в НИОКР составили 2,1 млрд евро в 2022 году, что стимулирует развитие смежных технологий и поддерживает репутацию страны как центра высоких технологий. Кроме того, Philips активно развивает направление циркулярной

экономики: в 2024 году 24 % продаж приходилось на продукцию с элементами восстановления ресурсов, а в 2025 году этот показатель достиг 27,9 %, что включает ремонт, восстановление и переработку оборудования [1].

Важно подчеркнуть, что стратегию Philips нельзя охарактеризовать исключительно через вертикальную интеграцию. Она представляет собой синтез вертикального контроля в цепочке создания стоимости Health-Tech (от разработки оборудования до программного обеспечения и услуг мониторинга) и активной горизонтальной экспансии через поглощения (Capsule Technologies, BioTelemetry, SpectraWAVE) и технологические партнерства (AWS, Mayo Clinic). Таким образом, Philips выступает как транснациональная корпорация с раздельной интеграцией: вертикальная интеграция обеспечивает технологическую глубину в ядерных сегментах, а горизонтальная – рыночную широту и адаптивность, что позволяет реализовывать гибридную стратегию в условиях высокой конкуренции. Используя метафору из стратегического менеджмента, можно сказать, что Philips демонстрирует гибридную модель: элементы стратегии «муравья» (выжидание и оптимизация) проявляются в периоды кризисов, например, после отзыва продукции Respironics в 2021 году, когда компания фокусируется на операционной эффективности, сокращении издержек, укреплении существующих позиций и управлении рисками. В то же время в долгосрочной перспективе Philips делает ставку на прорывные инновации: AI-платформы, безгелиевые МРТ, выход на новые рынки и создание будущих технологий, что соответствует элементам стратегии «стрекозы» (инновации и экспансия).



Рис. 1. Оборот и чистая прибыль в динамике, 2001-2025 гг.

Финансовая динамика компании (рис. 1) отражает влияние как внешних шоков, так и стратегических решений. Пандемия COVID-19 в 2020 году

парадоксальным образом оказала позитивное влияние на некоторые сегменты: Philips смогла нарастить продажи в подразделениях Monitoring & Analytics, Sleep & Respiratory Care благодаря росту спроса на оборудование для ИВЛ и мониторинга пациентов; органический рост продаж в 2020 году составил 3 % [1]. Однако 2022 год стал одним из самых тяжелых в новейшей истории Philips. На компанию обрушился «идеальный шторм»: последствия масштабного отзыва аппаратов для лечения апноэ (Respironics), начавшегося в 2021 году, привели к многомиллиардным списаниям, судебным искам и расследованиям Министерства юстиции США, что подорвало доверие инвесторов и репутацию компании. В октябре 2022 года генеральный директор Франс ван Хаутен покинул пост, его место занял Рой Якобс, перед которым встала задача вывода компании из кризиса. Ситуацию усугубили проблемы в цепочках поставок, локдауны в Китае, рост инфляции и процентных ставок. В результате компания сократила прогнозы, объявила о сокращении 4000 сотрудников и зафиксировала убытки. Тем не менее, к 2025 году наблюдается восстановление прибыльности: скорректированная маржа EBITA группы выросла до 12,3 % [1]. Согласно данным Yahoo Finance, по состоянию на апрель 2026 года рыночная капитализация Philips составляла около 22 млрд долларов, а степень капитализации (P/E) – 24,83 [2].

Особого внимания заслуживает роль онлайн-каналов в реализации персонализированного подхода. По состоянию на начало 2026 года Philips не выделяет интернет-продажи как отдельную строку в финансовой отчетности, однако по оценкам аналитиков ECDB, объем розничных онлайн-продаж продукции Philips (включая сторонних ритейлеров) в 2025 году составил около 517 млн долларов. Драйвером роста выступает сегмент Personal Health (электрические зубные щетки, бритвы, товары для матери и ребенка), который в 2025 году показывал значительный рост в отдельные кварталы (до 10,9 % в третьем квартале), во многом благодаря цифровым каналам. В рамках программы трансформации 2023–2025 годов компания сделала ставку на модель Direct-to-Consumer, увеличивая долю продаж через собственные интернет-магазины для повышения маржинальности. Онлайн-каналы являются фундаментом для перехода к персонализированной медицине, позволяя Philips объединять данные потребительских устройств (mHealth) с профессиональными диагностическими системами для создания индивидуальных планов лечения. Дистанционный мониторинг достигается через интеграцию данных с носимых устройств (трекеров Philips)

в клинические протоколы, что дает врачам возможность корректировать терапию в реальном времени без визита пациента в клинику. Цифровые решения Philips обеспечивают онлайн-взаимодействие между специалистами для получения второго мнения и дистанционной оценки состояния пациентов в реанимации и кардиологии. Использование онлайн-каналов для ведения хронических больных сокращает количество повторных госпитализаций и смертность (до 45 %). Через интернет-платформы компания предоставляет пользователям персонализированные рекомендации по здоровому образу жизни и питанию, интегрируя товары сегмента Personal Health в ежедневный цикл заботы о здоровье.

В отношении конкурентных позиций важно отметить, что Royal Philips N.V. не доминирует настолько, чтобы контролировать более 40 % какого-либо из основных рынков своего присутствия. Компания является лидером или одним из ключевых игроков в высококонкурентных и фрагментированных отраслях. На рынке товаров для персонального ухода, общий объем которого в 2025 году составил 24,9 млрд долларов, совокупная доля топ-5 игроков (Philips, Panasonic, P&G, Conair, Dyson) составляет всего 35 %. Доля самого Philips оценивается менее чем в 7 % [3], что позволяет компании быть лидером в этой фрагментированной среде. На рынке медицинского оборудования (диагностическое оборудование, МРТ, КТ, УЗИ, мониторинг, кардиология) Philips входит в число ключевых игроков, однако уступает лидерам (GE HealthCare, Siemens Healthineers, Medtronic). Согласно аналитике CSIMarket, относительная доля Philips среди прямых конкурентов в отдельных сегментах позволяет компании занимать устойчивые позиции во втором эшелоне [4]. В рейтинге Forbes Global 2000 Philips занимает 929-ю позицию, что отражает ее масштаб, но не доминирование [5]. Страна базирования не является домом для множества крупных ТНК-конкурентов Philips. Основные конкуренты в сфере медицинского оборудования: GE HealthCare (США), Siemens Healthineers (Германия) и Medtronic (Ирландия), а в сфере персонального ухода – Panasonic (Япония), Procter & Gamble (США), Conair (США), Dyson (Великобритания) [3].

Трансформация Philips в специализированного Health-Tech интегратора демонстрирует, что успех в персонализированной медицине достигается не только за счет технологических инноваций, но и через глобальную реорганизацию бизнес-модели. Высокая степень транснационализации создает как конкурентные преимущества (доступ к рынкам и технологиям), так и дополнительные риски, связанные с нестабильностью внешней среды.

Гибридная стратегия, сочетающая вертикальную интеграцию и горизонтальную экспансию, оказывается эффективной в высококонкурентных отраслях. Онлайн-каналы и модель Direct-to-Consumer выступают не просто инструментом повышения маржинальности, но и ключевым связующим звеном между потребительскими устройствами и клинической практикой. Перспективы дальнейших исследований связаны с количественной оценкой вклада цифровых платформ в улучшение клинических исходов и сравнительным анализом стратегий ведущих мировых игроков Health-Tech рынка.

Список используемых источников

1. Philips. 2025 Annual Report. URL: <https://www.results.philips.com/ar25> (дата обращения: 04.04.2026).
2. Royal Philips (PHG) Stock Quote // Yahoo Finance. 2026. URL: <https://au.finance.yahoo.com/quote/PHI1.NA/> (дата обращения: 04.04.2026).
3. Personal Care Appliances Market Size & Share 2026-2035 // Global Market Insights. 2026. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/personal-care-appliances-market> (дата обращения: 04.04.2026).
4. PHG's Market share relative to its competitors, as of Q4 2023 // CSIMarket. 2026. URL: <https://csimarket.com/stocks/competitionSEG2.php?code=PHG> (дата обращения: 04.04.2026).
5. Forbes Global 2000 // Forbes. URL: <https://www.forbes.com/lists/global2000/> (дата обращения: 04.04.2026).

Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем кафедры ЭД СПбГУТ, кандидатом экономических наук Т. И. Ююкиной.

УДК 336.012.23

ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ФИНАНСОВОЙ КУЛЬТУРЫ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ИНДЕКСОВ

Е. К. Доморацкая (студент группы ЭМ-31 СПбГУТ),

domoratskaia.ek@sut.ru

К. В. Косякова (студент группы ЭМ-31 СПбГУТ), kosiakova.kv@sut.ru

В статье анализируются тренды развития финансовой культуры населения на основе динамики интегрального индекса финансовой культуры и его ключевых компонентов. В качестве источника данных использованы результаты Всероссийского обследования домохозяйств по потребительским финансам за 2013–2024 гг. Индекс финансовой культуры включает три компонента: ответственность, долгосрочные горизонты и доверие к финансовым институтам. Анализ динамики индекса позволяет выявить основные изменения в финансовом поведении населения и определить ключевые тенденции развития финансовой культуры.

финансовая культура, финансовое поведение, индекс финансовой культуры, доверие, ответственность, долгосрочные горизонты

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF FINANCIAL CULTURE BASED ON INDEX CALCULATIONS

Domoratskaya E., Kosyakova K.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article analyzes trends in the development of the population's financial culture based on the dynamics of an integral financial culture index and its key components. The data source used is the All-Russian Household Survey on Consumer Finance for the period 2013–2024. The financial culture index comprises three components: responsibility, long-term horizons, and trust in financial institutions. Analyzing the dynamics of this index makes it possible to identify major shifts in the population's financial behavior and determine key trends in the development of financial culture.

Key words: financial culture, financial behavior, financial culture index, trust, responsibility, long-term horizons

Повышение финансовой грамотности и формирование финансовой культуры населения является одной из приоритетных задач государства, так как от этого зависит благополучие граждан и, в конечном итоге, финансовая безопасность страны. Трендом последнего времени становится не просто финансовая грамотность, трактуемая как «знания, умения и навыки, необ-

ходимые для принятия финансовых решений в целях достижения финансового благополучия и управления финансовыми рисками», а формирование финансовой культуры – «ценности, установки и поведенческие практики граждан в финансовой сфере» [1].

Определенно, понятие финансовой культуры шире понятия финансовой грамотности: это уже не просто набор компетенций, а мировоззрение – осознанное рациональное поведение человека в финансовой сфере, включающее привычки, навыки и ценности, формирующиеся под влиянием опыта принятия финансовых решений, уровня развития финансового рынка и общественных институтов [2].

Как обобщающий индикатор финансовой культуры, необходим показатель, который позволит «замерять неизмеряемое» – ценности, установки, рациональное финансовое поведение – индекс финансовой культуры. Такой индекс может позволить фиксировать, насколько люди ответственно управляют своими финансами, планируют будущее и доверяют финансовым институтам; отслеживать изменения и оценивать эффективность принимаемых мер по развитию финансовой культуры.

Для анализа финансовой культуры используются интегральные показатели, позволяющие агрегировать различные аспекты финансового поведения. Одним из таких показателей является индекс финансовой культуры, позволяющий оценивать уровень осознанности граждан при принятии финансовых решений, их готовность планировать будущее и доверять финансовым институтам.

Индекс финансовой культуры представляет собой агрегированный показатель, позволяющий измерять ценности и установки граждан, влияющие на финансовое поведение. В структуре индекса выделены три ключевых компонента [3]:

- ответственность – готовность граждан управлять личными финансами, формировать сбережения и контролировать расходы;
- долгосрочные горизонты – ориентация на планирование финансовых решений в долгосрочной перспективе;
- доверие – готовность использовать финансовые инструменты и взаимодействовать с финансовыми институтами.

Расчет индекса был проведен на основе данных Всероссийского обследования домохозяйств по потребительским финансам, которое проводилось в шести волнах: 2013, 2015, 2018, 2020, 2022 и 2024 гг. [4]. Для обеспечения

сопоставимости динамики были выбраны вопросы, присутствующие во всех волнах обследования.

Следует отметить, что расчет интегрального индекса финансовой культуры осуществлялся с использованием авторской методики, основанной на отборе релевантных показателей, их балльной оценке, взвешивании и нормализации относительно базового периода. Применение данной методики позволило обеспечить сопоставимость данных во времени и корректное отражение динамики финансового поведения населения.

Итоговый интегральный индекс формируется на основе нормированных субиндексов по каждому компоненту, что позволяет оценивать изменения финансовой культуры во времени.

Результаты расчетов (см. Таблицу 1) показывают, что за период 2013–2024 гг. индекс финансовой культуры в целом демонстрирует положительную динамику.

ТАБЛИЦА 1. Динамика индекса финансовой культуры и его компонентов

Год	Ответственность	Долгосрочные горизонты	Доверие	ИФК
2013	1,59	2,31	1,76	1,00
2015	1,62	2,05	1,53	0,92
2018	1,75	2,08	1,90	1,03
2020	2,10	1,66	1,58	0,98
2022	2,13	2,22	2,02	1,15
2024	2,31	2,40	2,25	1,26

Начальное значение индекса в 2013 году принято за базовое и равно 1. В последующие годы показатель демонстрирует колебания, однако в долгосрочной перспективе наблюдается положительный тренд. В 2015 году индекс снизился до 0,92, что может быть связано с экономической нестабильностью и валютным кризисом середины 2010-х годов. В 2018 году показатель вновь вырос до 1,03, после чего в 2020 году наблюдалось небольшое снижение до 0,98.

В дальнейшем индекс демонстрирует устойчивый рост и достигает максимального значения 1,26 в 2024 году, что свидетельствует о постепенном повышении уровня финансовой культуры населения.

Прежде всего, наиболее устойчивый рост демонстрирует компонент «Ответственность» (см. рис. 1). Значение данного показателя увеличилось с 1,59 в 2013 году до 2,31 в 2024 году. Таким образом, рост составил более 45 %, что свидетельствует о постепенном распространении практик ответственного финансового поведения, включая регулярные накопления и использование банковских счетов.

Данная тенденция может быть связана с развитием цифровых финансовых сервисов, расширением доступа населения к банковским услугам и повышением внимания к вопросам управления личными финансами.

В отличие от ответственности, компонент «Долгосрочные горизонты» демонстрирует более нестабильную динамику. Хотя показатель в целом вырос с 2,31 до 2,40, в течение исследуемого периода наблюдались значительные колебания. Наиболее заметное снижение индекса произошло в 2020 году, когда показатель сократился до 1,66.

Можно предположить, что данное снижение связано с пандемией и высокой экономической неопределенностью, в условиях которой домохозяйства были вынуждены сосредоточиться на краткосрочных финансовых решениях.

Еще одним важным трендом является рост доверия к финансовым институтам. Индекс доверия увеличился с 1,76 в 2013 году до 2,25 в 2024 году. Особенно заметный рост наблюдается в 2022–2024 гг. Вероятной причиной этого может быть повышение привлекательности банковских инструментов сбережения, в частности депозитов, что усилило готовность населения размещать средства в финансовых институтах.

Следует отметить, что динамика доверия и долгосрочного планирования в значительной степени зависит от макроэкономических условий. Периоды снижения показателей совпадают с экономическими кризисами и ростом неопределенности.

Итоговый ИФК в целом демонстрирует стабильную положительную динамику за весь период исследования (с базового уровня в 1 балл до 1,26), что соответствует пилотным расчетам Индекса развития финансовой культуры [1].

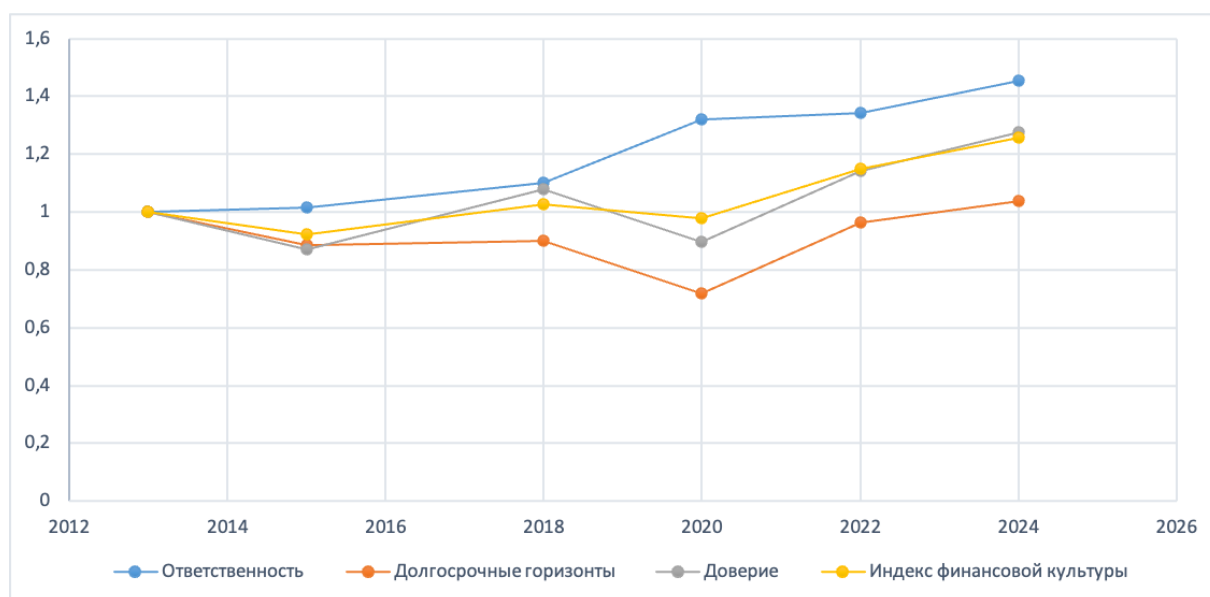


Рис. 1. Динамика индекса финансовой культуры и его компонентов

Проведенный анализ выявляет несколько ключевых тенденций в развитии финансовой культуры населения. Общий уровень финансовой грамотности постепенно растет, что отражается в положительной динамике интегрального индекса. Наиболее устойчивой тенденцией является повышение финансовой ответственности граждан, проявляющееся через активное использование банковских инструментов и практик накоплений. При этом долгосрочное финансовое планирование остается наиболее уязвимым аспектом, так как сильно зависит от макроэкономической стабильности. Также отмечается постепенное укрепление доверия к финансовым институтам, особенно в последние годы.

Анализ динамики индекса финансовой культуры за период 2013–2024 гг. показывает, что финансовое поведение населения постепенно становится более рациональным и осознанным.

Несмотря на отдельные периоды снижения показателей, связанные с экономическими кризисами и внешними шоками, долгосрочный тренд развития финансовой культуры остается положительным.

Полученные результаты подтверждают, что интегральные индексы могут выступать эффективным инструментом анализа изменений финансового поведения.

Список используемых источников

1. Аузан А., Богомолова А., Кокорев Р. Индекс развития финансовой культуры: подходы к формированию и измерению // Деньги и кредит. 2025. № 3. URL: <https://rjmf.econs.online/2025/3/financial-cultureindex-design/> (дата обращения: 05.04.2026).

2. Джиоева М. А., Егорова М. А. Формирование финансовой культура в студенческой среде // Финансовое просвещение. XXIII Всероссийская научно-практическая онлайн-конференция по финансовому просвещению в России. Сборник материалов. Москва, 2024. С. 150-160.

3. Минфин России. Методика расчета индикатора реализации Стратегии повышения финансовой грамотности и формирования финансовой культуры до 2030 года «Индекс развития финансовой культуры». URL: https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2025/06/main/12-12-12VN-25159__PRG-59-6-11522.pdf (дата обращения: 05.04.2026).

4. Банк России. Всероссийское обследование домохозяйств по потребительским финансам. URL: https://www.cbr.ru/ec_research/vserossiyskoe-obsledovanie-domokhozyaystv-po-potrebitel-skim-finansam/ (дата обращения: 05.04.2026).

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры ЭД, кандидатом экономических наук, доцентом М. А. Егоровой.

УДК 339.138

ПРОГРАММЫ ЛОЯЛЬНОСТИ КАК ФАКТОР УДЕРЖАНИЯ КЛИЕНТОВ НА РЫНКЕ ФИНАНСОВЫХ УСЛУГ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

М. А. Егорова (доцент кафедры ЭД, СПбГУТ)

Я. В. Платонова (студент группы ЭМ-21, СПбГУТ), platonova.yv@sut.ru

В статье рассматриваются программы лояльности как инструмент удержания клиентов в банковском и страховом секторах России. Анализируются виды программ лояльности, их эволюция в условиях цифровизации, ключевые метрики эффективности (Customer Retention Rate, Churn Rate, LTV, NPS). На примере крупнейших банков и страховых компаний РФ показано влияние кешбэка, подписок и экосистемных интеграций на поведение потребителей. Выявлены риски программ лояльности (навязывание услуг, утечка данных, демпинг) и предложены направления регуляторного контроля со стороны Банка России.

программы лояльности, удержание клиентов, кешбэк, финансовые услуги, цифровизация, Retention Rate, Churn Rate, LTV, NPS, экосистемы, регулирование

LOYALTY PROGRAMS AS A CUSTOMER RETENTION FACTOR IN THE FINANCIAL SERVICES MARKET IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

Egorova M., Platonova Y.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines loyalty programs as a customer retention tool in the banking and insurance sectors of Russia. The types of loyalty programs, their evolution in the context of digitalization, and key performance metrics (Retention Rate, Churn Rate, LTV, NPS) are analyzed. Using the examples of the largest banks and insurance companies in the Russian Federation, the impact of cashback, subscriptions, and ecosystem integrations on consumer behavior is shown. The risks of loyalty programs (service imposition, data leakage, dumping) are identified, and directions for regulatory control by the Bank of Russia are proposed.

Key words: loyalty programs, customer retention, cashback, financial services, digitalization, Retention Rate, Churn Rate, LTV, NPS, ecosystems, regulation

В условиях цифровой трансформации финансового рынка России традиционные конкурентные преимущества – низкие цены и широкая география присутствия – перестали быть достаточными для удержания клиентов. Согласно данным Банка России, за 9 месяцев 2024 года объем страховых премий вырос на 46,2 % до 2,4 трлн руб., однако чистая прибыль страховщиков сократилась на 16,3 % [1]. В банковском секторе отток розничных

клиентов (Churn Rate) в среднем составляет 8–12 % в год, а стоимость привлечения нового клиента (CAC) в 5–7 раз превышает затраты на удержание существующего. В этих условиях программы лояльности становятся ключевым инструментом retention-маркетинга.

Под лояльностью понимается верность бренду, имеющая как поведенческое (регулярные покупки, пролонгация договоров), так и эмоциональное (готовность рекомендовать, привязанность) измерение. Программа лояльности – это комплекс маркетинговых мероприятий, мотивирующих потребителя к повторным действиям через систему поощрений (скидки, бонусы, кешбэк, статусные привилегии). На сегодня существует обширная линейка программ лояльности, однако их общая цель заключается в удержании клиентов за счет укрепления доверия и повышения интереса потенциальных потребителей к продуктам и услугам компании.

Компании могут выбирать для себя разные виды программ лояльности с возможностью дифференцировать преимущества для разных стейкхолдеров (см. таблицу 1). Общим для всех видов программ лояльности является сбор данных о клиенте (так как они требуют регистрации) и формирование портрета клиента, что помогает компаниям лучше понимать своих клиентов и дает возможность персонализировать предложения.

Цели программ лояльности: снизить отток существующих и привлечь новых клиентов; снизить операционные издержки; повысить удовлетворенность клиентов и сформировать позитивное отношение к страховой компании; повысить узнаваемость бренда и выделиться среди конкурентов. Считается, что для компаний рынка финансовых услуг лояльно настроенные клиенты менее чувствительны к цене, и они выгоднее за счет снижения затрат на привлечение новых клиентов [2].

В финансовой сфере выделяют следующие виды программ (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Виды программ лояльности на финансовом рынке

Вид программы лояльности	Пример	Механизм
Кешбэк (бонусный)	Т-Банк (кешбэк до 30 % у партнеров)	Возврат части суммы реальными деньгами или баллами
Многоуровневый (статусный)	СберПрайм, Альфа-Банк (статусы «Золотой», «Платиновый»)	Повышенные привилегии при росте оборотов
Подписочный	Т-Bank Pro (299 руб./мес)	Ежемесячная плата за расширенный кешбэк и сервисы

Вид программы лояльности	Пример	Механизм
Экосистемный	Сбер, Альфа, Т-Банк (банк + страхование + такси + доставка)	Единая бонусная валюта внутри группы компаний
Коалиционный (кобрендинг)	«Аэрофлот Бонус» (Сбер + Аэрофлот)	Накопление миль при покупках у партнеров

Эволюция от простых дисконтных карт к экосистемным подпискам объясняется возможностями цифровизации: сбором Big Data, применением искусственного интеллекта для персонализации, развитием мобильных приложений как единого окна взаимодействия [3].

Для оценки эффективности программ лояльности и построения клиентоориентированной бизнес-стратегии компаниям на финансовом рынке необходимо отслеживать основные метрики активности клиентов: индекс потребительской лояльности (NPS), коэффициент оттока (Churn Rate), показатель удержания клиентов (CRR), пожизненную ценность клиента (LTV).

Customer Retention Rate (CRR) – доля клиентов, оставшихся с компанией за период:

$$CRR = \frac{E - N}{S} \times 100 \%,$$

где E – количество клиентов на конец периода, N – новые клиенты за период, S – клиенты на начало периода.

Churn Rate – обратный показатель: $Churn = 100 \% - CRR$.

LTV (Lifetime Value) – пожизненная ценность клиента:

$$LTV = ARPU \times \frac{1}{Churn}, \text{ где } ARPU - \text{средний доход с клиента в месяц.}$$

NPS (Net Promoter Score) – индекс готовности рекомендовать, измеряемый опросом.

Например, если банк снижает Churn с 12 % до 10 % при $ARPU = 1500$ руб., то LTV растет с 12 500 до 15 000 руб. (+20 %). Программа лояльности, которая достигает такого эффекта, считается эффективной.

Практика российских финансовых организаций подтверждает важность программ лояльности для удержания клиентов. Т-Банк благодаря подписке Т-Bank Pro и кешбэку до 30 % удерживает лидерство по индексу потребительской лояльности (NPS) среди розничных банков: его NPS составляет 78 пунктов, что значительно выше общероссийского показателя (55 п.) и значений

ближайших конкурентов (Альфа-Банк – 59, Сбербанк – 53, ВТБ – 51). Это подтверждает, что продуманная цифровая программа лояльности напрямую влияет на готовность клиентов рекомендовать банк [4].

Для регулятора (Банка России) возникает задача баланса между стимулированием лояльности и защитой прав потребителей. Основные опасности программ лояльности:

- навязывание услуг;
- непрозрачность условий;
- утечка персональных данных;
- демпинг и угроза финансовой устойчивости.

Предлагаемые меры регулирования:

1. Запрет автоматического подключения к программам лояльности без явного согласия.

2. Обязательное раскрытие эффективной стоимости услуги с учетом кешбэка.

3. Мониторинг коэффициента выплат по сегментам с активными программами лояльности.

4. Ужесточение требований к кибербезопасности при сборе персональных данных участников программ.

Таким образом, программы лояльности на рынке финансовых услуг являются эффективным фактором удержания клиентов, особенно в условиях цифровизации, когда персонализация и удобство играют решающую роль. Однако для долгосрочного успеха необходима прозрачность механик, ответственное отношение к данным и разумное регулирование, не подавляющее конкуренцию, но защищающее интересы потребителей.

Список используемых источников

1. Банк России. Обзор ключевых показателей деятельности страховщиков. III квартал 2024 года. URL: https://cbr.ru/Collection/Collection/File/54895/review_insure_24Q3.pdf (дата обращения: 20.02.2026).
2. Константинов П. К., Павлов И. С. Программы лояльности как неотъемлемая часть современного маркетинга // StudNet. 2021. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/programmy-loyalnosti-kak-neotemlemaya-chast-sovremennogo-marketinga> (дата обращения: 04.04.2026).
3. Курочкина А. Ю. Управление лояльностью потребителей: учебное пособие. СПб: Изд-во СПбГЭУ, 2019. 99 с.
4. НАФИ (Аналитический центр). Лояльность клиентов российским банкам (Индекс NPS). URL: <https://new.nafi.ru/ratings/loyalnost-klientov-rossiyskim-bankam-indeks-nps/> (дата обращения: 04.04.2026).

УДК 316.472.4

РЕПУТАЦИЯ КАК АКТИВ: КАК ДАННЫЕ О БРЕНДЕ ВЛИЯЮТ НА ПРОДАЖИ

А. И. Жемчужная (студент группы 414БА Институт бизнеса
Белорусского государственного университета), 2007alina0330@gmail.com

К. Р. Максимова (студент группы 414БА Институт бизнеса Белорусского
государственного университета), kсениya.maksimova.sb@gmail.com

Социальные технологии приобретают все большую популярность благодаря тому, что они формируют среду, в которой информация о реальных действиях компании становится общедоступной и быстро распространяемой, а их использование не требует от потребителей специальных навыков или организованных усилий. Появление множества независимых источников данных – крауд-платформ, социальных сетей, агрегаторов репутационных рисков – дает свободу выбора и возможности для экономии различным категориям пользователей, позволяя принимать решения о покупке на основе проверенного опыта других клиентов, сотрудников и партнеров.

репутация бренда, экономика данных, потребительское поведение, социальные технологии

REPUTATION AS AN ASSET: HOW BRAND DATA INFLUENCES SALES

Zhemchuzhnaya A., Maksimova K.

School of Business, Belarusian State University

Social technologies are becoming increasingly popular because they foster an environment where information about a company's real actions is made publicly available and spreads rapidly, all without requiring consumers to possess specialized skills or engage in organized efforts. The emergence of multiple independent data sources – including crowd platforms, social networks, and reputational risk aggregators – offers various user categories greater freedom of choice and opportunities to save resources, enabling them to make purchasing decisions based on the verified experiences of other customers, employees, and partners.

Key words: brand reputation, data economy, customer relations, social technologies

Десятилетиями классический маркетинг строился вокруг модели односторонней коммуникации, где бренд был главным источником информации о себе. Потребитель находился в позиции пассивного получателя сообщений, а эффективность коммуникации определялась масштабом рекламного бюджета и распространения. Однако стремительное развитие социальных технологий в последние годы привело к значительному сдвигу в структуре информационного обмена между бизнесом и аудиторией.

Сегодня потребитель получает данные о компании не из ее официальных коммуникаций, а из множества независимых источников, которые бренд не контролирует. Платформы отзывов (Яндекс.Карты, IRecommend), ВК-сообщества, объединяющие клиентов и сотрудников, сервисы проверки работодателей, агрегаторы репутационных рисков (СКАН, Медиалогия) формируют среду, в которой информация о реальных действиях компании становится общедоступной. В этих условиях традиционная маркетинговая парадигма «бренд говорит – потребитель верит» утрачивает свою силу.

Сегодня социальные технологии превращают разрозненные данные о компании в механизм, влияющий на экономику продаж. В условиях экономики данных, где информация о реальных действиях становится доступной и быстро распространяемой, она циркулирует в множестве независимых систем. Во-первых, это крауд-платформы: 2ГИС, Яндекс.Карты, Flamp, IRecommend. Во-вторых, социальные трибуны – ВК-сообщества, объединяющие клиентов и сотрудников. В-третьих, агрегаторы данных, которые на основе анализа открытых источников формируют репутационные индексы [1, 2].

Социальный кредит бренда – это объективно значимый рейтинг доверия, складывающийся из независимых данных о компании и определяющий сложность привлечения клиентов, партнеров и сотрудников.

Данный рейтинг структурируется по трем основным компонентам.

Продуктовый компонент – совокупность данных о качестве товаров и услуг, выраженная через отзывы потребителей. В B2C рейтинг на маркетплейсе или в картографическом сервисе напрямую влияет на вероятность покупки. В B2B более значимы кейсы реализации проектов, отзывы крупных клиентов, данные о соблюдении сроков, циркулирующие в профессиональных сообществах.

Социальный компонент отражает отношение компании к сотрудникам. В B2C информация о массовых увольнениях, токсичной корпоративной культуре становится публичной. Потребители голосуют рублем против компаний с низким социальным рейтингом. В B2B стабильность кадрового состава и репутация работодателя являются маркерами надежности компании для потенциальных партнеров.

Экологический и этический компонент включает соответствие деятельности компании заявленным ценностям и соблюдение *ESG*-стандартов. Особую остроту приобретает гринвошинг – ситуация, когда компания декларирует ответственность, но не подтверждает это действиями. В эпоху

экономики данных такие несоответствия быстро выявляются: одного разоблачительного материала достаточно, чтобы разрушить накопленный годами образ. Механизм «социального кредита» работает в двух сегментах по-разному. В B2C он действует быстрее и более эмоционально: один популярный пост может изменить отношение миллионов потребителей за несколько дней. В B2B механизм работает медленнее, но последствия более долгосрочны. Низкий социальный кредит может означать исключение из пула надежных партнеров, что сказывается на бизнесе годами.

Классическая маркетинговая воронка, описывающая путь клиента по схеме AIDA «Внимание – Интерес – Желание – Действие», на протяжении десятилетий служила базовой моделью построения коммуникаций с потребителем. Сегодня вместо этого поведение потребителя характеризуется множеством возвратов, проверок и обращений к независимым источникам информации. На смену классической модели приходит новая логика: «Проверка – Доверие – Покупка» [2].

Как показывают исследования, 96 % потребителей проверяют онлайн-отзывы перед первой покупкой, причем негативные отзывы читаются более внимательно и воспринимаются как более достоверные, чем позитивные. Это явление получило название «анти-воронки»: вместо плавного движения к покупке потребитель сознательно ищет основания для отказа, и только успешное прохождение этой «проверки на прочность» позволяет бренду перейти к этапу формирования доверия.

Социальные технологии выступают ключевым инструментом этого процесса. ВК-сообщества, паблики «Обратная связь» формируют поведение аудитории быстрее и эффективнее, чем официальные аккаунты компаний. В закрытых каналах и профессиональных сообществах потребители получают «сырую» информацию о реальном опыте взаимодействия с брендом, которой они доверяют больше, чем корпоративной рекламе. Согласно данным Clutch, 78 % потребителей признают, что их решение о покупке находится под влиянием постов брендов в социальных сетях, однако на самих платформах совершают покупку лишь 15 %. Этот разрыв указывает на то, что социальные сети чаще выполняют функцию формирования доверия, а не прямых продаж. Более того, значительная часть потребительского пути сегодня проходит в «темной воронке» – в частных каналах коммуникации (мессенджеры, закрытые чаты, личные сообщения), которые недоступны для традиционной аналитики, но именно там принимаются финальные решения о покупке [1, 3].

Наиболее радикальным проявлением новой логики потребительского поведения стал феномен «отмены брендов», который возникает, когда совокупность негативных данных о компании достигает критической массы. В отличие от традиционного бойкота, который требовал организованных усилий и длительной подготовки, «отмена» бренда в эпоху социальных технологий происходит спонтанно и зачастую необратимо. Механизм прост: один резонансный факт (скандальное высказывание, разоблачение неэтичной практики) попадает в социальные сети, мгновенно распространяется, и потребители начинают массово отказываться от покупок, публично демонстрируя свой отказ. Социальные технологии выполняют здесь сразу три функции: канала распространения информации, инструмента координации коллективного действия и платформы для публичной демонстрации позиции.

В результате бренд оказывается в ситуации, где его репутация разрушается за считанные дни, а восстановление требует огромных ресурсов [4].

Практические кейсы

«ВкусВилл». В 2025 году «Газета.Ru» провела исследование, по итогам которого в четырех из шести готовых блюд была найдена кишечная палочка и замечены нарушения температурного режима доставки, до этого также были случаи жалоб потребителей о недопустимых нарушениях. Несмотря на это, бренд достойно справился с такими трудностями и сохранил свой статус на рынке. Во всех случаях представители бренда быстро выходили на связь и давали свои комментарии в СМИ, не допуская информационного вакуума. Компания показывает свою заботу о клиентах и как пытается решить конфликт в настоящем времени. В ситуации с расследованием в ответ на обвинения «ВкусВилл» опубликовал свежие протоколы лабораторных экспертиз, а в масс-медиа сместил фокус внимания на процесс ее решения, показывая, как продукция проходит контроль качества.

Несмотря на все сложности, бренд смог сохранить свое место на рынке в сфере, в которой, на первый взгляд, основной фокус идет на качество и доступность. Это хороший пример того, как скорость реакции помогла сохранить образ бренда.

Skyeng. Компания онлайн курсов по английскому языку тоже однажды столкнулась с огромным наплывом жалоб на платформах (iRecommend). В отличие от многих компаний, которые просто «отрабатывают» негативные отзывы, *Skyeng* выстроил системный процесс работы с данными обратной связи. С ростом компании была выделена отдельная группа поддержки клиентов в соцмедиа, выстроена единая аналитика отзывов и проведены встречи обратной связи по улучшению бизнес-процессов. По итогам такой

работы над ошибками бренд продолжает расти и развиваться, привлекая новых клиентов B2B и B2C [4, 5].

Оба примера доказывают, что репутация не просто «витают в воздухе», а требует системного подхода. Скорость реакции, работа с обратной связью и прозрачность с доказательствами может не просто помочь сохранить настоящих клиентов, а также привлечь новых.

По итогам анализа можно утверждать, что в условиях экономики данных репутация бренда переросла из «мягкого» фактора, учитываемого лишь в кризисных ситуациях, в измеримый экономический актив, напрямую влияющий на финансовые показатели бизнеса. Рассмотренные кейсы «ВкусВилла» и Skyeng подтверждают, что успешное управление репутацией в новой реальности требует не оперативного «отрабатывания» негатива, а системного подхода.

Таким образом, репутация в экономике данных перестает быть «дополнением» к бизнесу и становится его фундаментом. Самым устойчивым источником конкурентного преимущества выступает фактическое соответствие между заявленными ценностями и реальными действиями компании. Бизнесы, которые осознают это и начнут управлять репутацией как экономическим активом, получают возможность не только удерживать клиентов, но и формировать премию за доверие. Те же, кто продолжит воспринимать репутацию как второстепенную «пиар-функцию», рискуют столкнуться со спонтанной и неконтролируемой «отменой», предотвратить которую традиционными методами уже невозможно.

Список используемых источников

1. Alves J., Teixeira S., Oliveira Z., Teixeira S. Factors influencing brands' reputation on social media // Management & Marketing. 2024. Vol. 19, N 4. P. 692-709.
2. Coombs W. T., Tachkova E. R. How Emotions Can Enhance Crisis Communication: Theorizing Around Moral Outrage // Journal of Public Relations Research. 2024. Vol. 36. P. 6-22.
3. Hobbs M. J., O'Keefe S. Agonism in the arena: Analyzing cancel culture using a rhetorical model of deviance and reputational repair // Public Relations Review. 2024.
4. Iachizzi M. Brewing crises: Bud Light's stakeholders' loyalty and crisis communication fizzle // Media International Australia. 2025.
5. Raghunath N. Theorising quantified credibility in the age of big data: a case of China's Social Credit System // The Journal of Chinese Sociology. 2024. Vol. 11. Art. 12.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом педагогических наук, доцентом кафедры маркетинга Института бизнеса Белорусского государственного университета М. В. Лесниченко-Роговской.

УДК 338.1

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ 5G НА РАЗВИТИЕ УСЛУГ ДЛЯ БИЗНЕСА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

В. В. Макаров (д.э.н., профессор кафедры ЭД, СПбГУТ)

А. А. Фокичев (студент группы БИ-41м, СПбГУТ), fokichev.aa@sut.ru

В статье представлен комплексный анализ эффективности внедрения технологии 5G в сектор бизнес-услуг телекоммуникационных компаний на основе изучения успешных отечественных и зарубежных кейсов, инфраструктурных аспектов развертывания Private 5G/LTE, а также практических рекомендаций по стратегическому развитию. Рассматриваются модели Managed Private 5G, сравнительные затраты на инфраструктуру по сравнению с кабельными решениями и Wi-Fi 6, экономическая отдача проектов и приоритеты инвестиций в условиях импортозамещения.

Private 5G, Managed Private 5G, Industry 4.0, Network-as-a-Service, OpenRAN, NEA-7, корпоративный сегмент, телекоммуникационные услуги B2B

ANALYSIS OF THE IMPACT OF 5G TECHNOLOGY ON THE DEVELOPMENT OF SERVICES FOR BUSINESS IN TELECOMMUNICATIONS

Makarov V., Fokichev A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article presents a comprehensive analysis of the effectiveness of the introduction of 5G technology into the business services sector of telecommunications companies based on the study of successful domestic and foreign cases, infrastructural aspects of Private 5G/LTE deployment, as well as practical recommendations for strategic development. The models of Managed Private 5G, the comparative infrastructure costs compared to cable solutions and Wi-Fi 6, the economic impact of projects and investment priorities in the context of import substitution are considered.

Key words: Private 5G, Managed Private 5G, Industry 4.0, Network-as-a-Service, OpenRAN, NEA-7, corporate segment, B2B telecommunication services

В условиях ускоренной цифровой трансформации экономики технология 5G выступает стратегическим инструментом модернизации корпоративного сегмента телекоммуникационных услуг, обеспечивая переход от традиционных сетей к универсальным платформам Private 5G с гарантированными параметрами надежности, низкой задержки и массового подключения устройств [1]. По состоянию на март 2026 года глобальный рынок частных сетей демонстрирует устойчивый рост, однако в России

внедрение сталкивается с особенностями регуляторной среды, импортозамещения и отраслевой специфики, что требует глубокого анализа успешных практик, инфраструктурных затрат и риск-ориентированных рекомендаций для обоснования инвестиционных решений операторов и предприятий [2].

Сравнительный анализ успешных примеров внедрения Private 5G на ведущих мировых рынках подтверждает высокую экономическую отдачу технологии в корпоративном сегменте. В США «Verizon Business» лидирует с решением On Site 5G, развернутым в порту Норфолк, где сеть охватывает 270 акров и обеспечивает рост производительности логистики на 67 % за счет реального времени координации автономных систем и граничных вычислений с окупаемостью в 9-14 месяцев, а в здравоохранении проекты «AdventHealth» и «Tampa General Hospital» сочетают нейтральную хост-сеть и технологию выделенных процессорных ядер, снижая операционные затраты и повышая надежность критических приложений [3]. В Европе Deutsche Telekom совместно с Ericsson реализует кампусные сети в порту Тайн и на заводах Airbus, где частная мобильная сеть 5G (Private 5G) с технологиями сетевого сплайсинга (Network Slicing) и граничных вычислений (Edge Computing) поддерживает цифровые двойники и дистанционное управление, обеспечивая снижение рисков на 20-30 % и возврат инвестиций за 12-18 месяцев при акценте на экологичность и суверенитет технологий. Китай демонстрирует беспрецедентный масштаб с более чем 58 тыс. виртуальных сетей, где Huawei и China Mobile достигают роста эффективности производства на 20-90 % на фабриках Midea Group и окупаемости за 6-12 месяцев при выручке от Private 5G в размере 8,7 млрд. юаней в 2024 году благодаря государственной программе и виртуальным слайсам. В России МТС и Ростелеком лидируют с 42 коммерческими сетями и 173 проектами Private LTE/5G [4], успешно применяемыми в горнодобыче на Ковдорском ГОКе, Полюсе Алдан и нефтегазовых объектах «ЯТЭК» и «EVRAZ», где решения обеспечивают надежную связь в экстремальных условиях, снижение простоев и окупаемость за 12-24 месяца при адаптации к требованиям локализации. Глобальное сравнение подчеркивает поляризацию рынков: Китай лидирует по объему и темпам, США по зрелости моделей частных сетей, Европа по инновациям и реализации Индустрии 4-го поколения, а Россия по практической адаптации в ресурсодобывающих отраслях с потенциалом быстрого апгрейда до автономных сетей пятого поколения.

Анализ создания, монтажа и поддержания инфраструктуры сети Private 5G/LTE оператора на территории предприятия демонстрирует преимущества модели «Сеть как сервис» (Network-as-a-Service), где оператор полностью берет на себя аудит, планирование, поставку, монтаж и эксплуатацию,

переводя затраты предприятия из капитальных в операционные [5]. В российском горнодобывающем секторе, где на частную подвижную связь приходится 46 % проектов, кейс МТС на разрезе «Междуречье» с покрытием 98 кв. км. 14-ю макросайтами без остановки производства подтверждает эффективность: сеть обеспечивает связь для около 800 сотрудников и 500 единиц техники с пакетированным ядром Протей и системой полудуплексной голосовой связи (РТТ). Сравнительный анализ затрат (табл.1) для крупного угольного разреза масштаба «Междуречье» показывает, что частная сеть от оператора практически обнуляет капитальные затраты предприятия до 0-20 миллионов рублей на интеграцию и пользовательское оборудование при операционных затратах в 60-150 млн. рублей ежегодно, в то время как собственная кабельная инфраструктура требует 400-800 млн. рублей начальных вложений с ежегодными расходами на перекладку и простои до 80-200 млн. рублей, а Wi-Fi 6 занимает промежуточное положение со 150-400 млн. рублей капитальных затрат из-за необходимости в сотнях точек доступа и проблем интерференции [6]. Общая стоимость владения за 3 года для Private-сети составляет 180-450 млн. рублей против 900-1800 млн. рублей для кабеля и 450-1000 млн. рублей для Wi-Fi 6, обеспечивая снижение на 40-70 % за счет меньшего количества оборудования, гарантированного качества предоставляемой связи и отсутствия физического обслуживания в динамичном рельефе карьера.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительный анализ стоимости реализации телекоммуникационной сети горнодобывающего предприятия

Параметр	Private 5G/LTE от оператора (NaaS, МТС)	Собственная кабельная инфраструктура (Ethernet/fiber рудничное исполнение)	Wi-Fi 6 (промышленная сеть)
Начальные вложения	0-20 млн руб.(только интеграция и клиентское оборудование)	40-800+ млн руб.(кабель, траншеи в скале, монтаж, разрешения, защита)	150-400 млн руб.(сотни точек доступа (ТД), монтаж, кабели к ТД, радиочастотное -планирование (RF))
Структура капитальных затрат	-	Кабель и оптика: 40 -50 %; монтаж/траншеи: 30-35 %; оборудование и разрешения: 15-25 %	ТД и контроллеры: 40-50 %; монтаж и кабелирование: 30-40 %; планирование/тестирование: 10-20 %

Параметр	Private 5G/LTE от оператора (NaaS, MTC)	Собственная кабельная инфраструктура (Ethernet/fiber рудничное исполнение)	Wi-Fi 6 (промышленная сеть)
Операционные затраты (ежегодно, млн руб.)	60-150 (подписка + обслуживание + обновления) [7].	80-200+ (ремонт, перекладка 1-2 раза/год, электропитание, охрана)	70-180 (RF-менеджмент, замена ТД, электропитание)
Структура операционных затрат	Подписка (включает мониторинг, поддержку); минимальные простои	Ремонт/замена кабеля: 40 %; перекладка при изменении рельефа: 30 %; простои техники: 20-30 %	Управление интерференцией: 30-40 %; замена/обновление ТД: 25 %; простои из-за зон: 20 – 30 %
Стоимость владения за 3 года (млн руб.)	180 – 450	900 – 1 800 (с 1-2-мя перекладками)	450 – 1 000 (высокая плотность + управление)
Гибкость и масштабирование	Высокая (добавление сайтов за 2-4 недели, без остановки)	Низкая (перекладка – 1-3 месяца, стоимость 50-80 % от исходной)	Средняя (добавление ТД – недели, но требуется перепланирование)
Дополнительные эффекты (экономия)	Снижение затрат на связь на 20-25 %; Увеличение производительности на 12-18 %; безопасность	Частые аварии, риски в шахтах/карьере	Рост производительности в стабильных зонах на 10-15 %, но потери в мобильности
Риски и нематериальные факторы	Низкие (Обслуживание от оператора, быстрая замена, лицензионный спектр)	Высокие (зависимость от подрядчиков, сезонность, коррозия)	Средние (интерференция, ограниченная мобильность, безопасность)

Таким образом, модель «Сеть как сервис» превосходит альтернативы по надежности, масштабируемости и операционной эффективности, особенно в условиях изменяющегося рельефа и экстремальных условий эксплуатации.

Разработка практических рекомендаций по стратегическому использованию 5G в корпоративных телекоммуникационных услугах ориентирована на российский рынок и предполагает фокус операторов на модели частных

сетей подвижной связи как основном источнике постоянного дохода с распределением 42 % инвестиционного бюджета на управляемые сети для приоритетных отраслей, 30 % на транспорт и граничные вычисления, 18 % на разработку и внедрение отечественного оборудования и 10 % на реализацию пилотных проектов [8]. Инвестиционные приоритеты включают развитие открытой архитектуры сети радиодоступа OpenRAN для снижения капитальных затрат от внедрения пятого поколения в среднем на 20-35 % и полной локализации инфраструктуры оператора связи путем интеграции с отечественным протоколом шифрования NEA-7 «Кузнечик» в слое конвергенции пакетных данных для автоматического переключения протоколов в гибридном режиме. Партнерские модели предусматривают создание совместных предприятий с отечественными вендорами «Иртея», «Протей» и «Yadro» для достижения 70-80 % локализации и реализацию поставок оборудования, а так же совместное использование телекоммуникационной инфраструктуры с другими компаниями операторов для снижения операционных затрат на 30-40 %. Государственная поддержка должна максимально использоваться компаниями операторов через переговоры о выделении спектра без аукциона, субсидии до 90 % на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и гранты, обеспечивая приоритет в закупках. Поэтапная стратегия на 2026-2030 годы предполагает запуск пилотов в 5-7-ми отраслях в 2026 году, масштабирование на 16 городов-миллионников в 2027-2028 и достижение доли B2B-выручки от 5G в 15-25 % к 2030 году с возвратом инвестиций не позднее 18 месяцев [9].

В заключение можно отметить, что проведенный анализ подтверждает, что технология 5G в формате Private 5G представляет собой высокоэффективный инструмент цифровизации корпоративного сегмента, обеспечивающий значительный экономический эффект при правильном управлении инфраструктурными затратами и стратегическом планировании. Успешные кейсы Verizon, Deutsche Telekom, Huawei, МТС и Ростелеком, превосходство модели «Сеть как сервис» над кабельными и Wi-Fi 6 решениями, а также целевые рекомендации по инвестициям, OpenRAN и государственной поддержке позволяют российским операторам превратить текущие ограничения в конкурентные преимущества, обеспечить технологическое преимущество к 2030 году.

Список используемых источников

1. Макаров В. В., Туфрин П. Л. Инновационное развитие инфокоммуникационной компании // Экономическое возрождение России. 2011. № 3 (29). С. 83-91.

2. Фомина А. Н. Развитие инновационных технологий 5G в телекоммуникационной отрасли: проблемы и перспективы // Экономика, предпринимательство и право. 2022. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-innovatsionnyh-tehnologiy-5g-v-teleindustrii-problemy-i-perspektivy> (дата обращения: 09.02.2026).
3. Городнова Н. В., Шаблова Е. Г. Развитие промышленного интернета вещей в России: экономический анализ и правовые аспекты // Экономика, предпринимательство и право. 2024. № 6. URL: <https://1economic.ru/lib/121163> (дата обращения: 15.03.2026).
4. Алексеева Н. Н. Технологические аспекты новых сценариев представления услуг в перспективных сетях 5G // КиберЛенинка. 2024. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-aspekty-novyh-stsenariiev-predstavleniy-uslug-v-perspektivnyh-setyah> (дата обращения: 1.03.2026).
5. Arendt C., Böcker S., Schippers H., Ploch T., Kuhn M., Venjakob V., Hunger S., Wietfeld C. Evaluation of Private 5G and Wi-Fi Networks in Industrial Scenarios // WFCS 2025. 2025. URL: https://cni.etit.tu-dortmund.de/storages/cni-etit/r/Research/Publications/2025/Arendt_2025_WFCS/Arendt_WFCS2025_AuthorsVersion.pdf (дата обращения: 02.04.2026).
6. Bangera R. Enhanced Retail Experience Powered by Private Wireless: Architectures, Applications, and Performance Analysis // International Journal of Emerging Research in Engineering and Technology. 2026. № 7 (1). С. 55-61.
7. Berg Insight. The Private LTE & 5G Networks Market Report. 2025. URL: <https://www.berginsight.com> (дата обращения: 26.01.2026).
8. SNS Telecom & IT. Private 5G Networks Market Forecast 2025-2030. 2025. URL: <https://snstelecom.com> (дата обращения: 06.04.2026).
9. Ericsson. Private 5G Networks for Industry 4.0: Mobility Report. 2025. URL: <https://www.ericsson.com/en/reports-papers/mobility-report> (дата обращения: 30.03.2026).

УДК 393:32

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ПОХОРОННЫХ ПРАКТИК В КИТАЕ: МЕЖДУ КУЛЬТУРНОЙ ПАМЯТЬЮ И ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКОЙ**Т. В. Молчанова** (к.и.н., доцент кафедры ИиРВ СПбГУТ)**А. М. Остроумова** (студент группы ЗР-32, СПбГУТ),ostroumova.am@sut.ru

Экологические захоронения в Китае (древесные, морские, цветочные) набирают популярность благодаря государственным субсидиям и новым стандартам Министерства гражданской администрации. Однако традиционная культура погребения, основанная на конфуцианстве, даосизме, буддизме и фэн-шуй, требует индивидуального и постоянного места для поминовения предков. Противоречие между государственной политикой и культурной памятью проявляется на пространственном, моральном и темпоральном уровнях. Адаптация традиции к экологическим требованиям происходит через рыночную дифференциацию услуг, переосмысление ритуала и поколенческий сдвиг.

экологические захоронения, Китай, культурная память, сыновья почтительность, фэн-шуй, биоразлагаемые урны, древесные захоронения

THE ECOLOGIZATION OF FUNERAL PRACTICES IN CHINA: BETWEEN CULTURAL MEMORY AND STATE POLICY**Ostroumova A.**

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

Eco-burials in China (tree, sea, flower burials) are gaining popularity due to government subsidies and new standards of the Ministry of Civil Affairs (July 2025). However, the traditional funeral culture, based on Confucianism, Taoism, Buddhism and Feng Shui, requires an individual and permanent place for ancestor commemoration. The contradiction between state policy and cultural memory manifests itself at spatial, moral and temporal levels. The adaptation of tradition to environmental requirements occurs through market differentiation of services, rethinking of the ritual and a generational shift.

Key words: eco-burials, China, cultural memory, filial piety, Feng Shui, biodegradable urns, tree burials

В китайской традиции смерть всегда осмыслялась как событие, не менее значимое, чем жизнь, а погребальный ритуал веками передавал моральные ценности. Как отмечает профессор Центрального университета национальностей Цзинь Фэнлинь, в исследовании китайской культуры смерти на протяжении тысячелетий в Китае сформировалась синкретическая система представлений о смерти, в которой конфуцианская сыновья почти-

тельность, даосская гармония с природой, буддийское учение о перерождении и народные практики фэн-шуй оказались тесно переплетены [1]. Конфуцианство, основанное на принципе «жэнь» (гуманность), включило в себя систему добродетелей, среди которых «сяо» (сынóвья почтительность) заняла центральное место. Норма «трех лет траура», установленная Конфуцием, требовала от сыновей активного ритуального ухода за могилой, а размер и богатство гробницы становились прямым знаком уважения к предкам. Буддизм, проникший в Китай в эпоху Западной Хань (206 г. до н.э. – 9 г. н.э.), принес представление о карме и перерождении: смерть переставала быть окончательным концом, превращаясь в переход к новому циклу существования. Именно под влиянием буддизма кремация, первоначально чуждая китайской культуре, постепенно получила распространение. Даосизм, единственная религия, возникшая на собственно китайской почве, напротив, настаивал на экономии и полном слиянии с природой. Фэн-шуй добавил к этой картине пространственное измерение, предлагая выбирать для могилы места с оптимальным рельефом, защитой от ветров и водными потоками [1, 2]. Таким образом, к моменту начала государственной экологизации похоронной сферы, начавшейся с принятия в 2016 году первого совместного постановления девяти министерств о внедрении ресурсосберегающих экологических захоронений, могила в Китае была не просто местом физического покоя тела, а узлом, связывающим живых и умерших, прошлое и будущее, род и землю.

Под экологическими захоронениями понимаются способы погребения с использованием биоразлагаемых материалов и без капитальных надгробий – древесные, морские, цветочные [3]. В китайской нормативной традиции закрепился термин «ресурсосберегающее экологическое захоронение». Понятие впервые официально появилось в Китае в 2016 году в совместном постановлении девяти министерств [1]. Этому способствовали три основных фактора: дефицит земельных ресурсов из-за урбанизации [2], экологический ущерб от традиционных захоронений (бетон, токсичные составы) [4] и государственная политика «экологической цивилизации», провозглашенная в 2012 году [1].

Однако с ростом урбанизации и плотности населения традиционная система захоронений столкнулась с противоречием. Кладбища занимают значительные площади, а экологические последствия традиционных захоронений, включая использование неразлагаемых материалов и вырубку земель, стали предметом общественной и государственной озабоченности [4]. Как

отмечает старший научный сотрудник Министерства гражданской администрации КНР Го Линь в официальном комментарии к пересмотренным «Правилам управления похоронной деятельностью», опубликованном в 2026 году, государство стремится формировать «современную и цивилизованную похоронную культуру», сочетающую уважение к традициям с экологической ответственностью [3]. В ответ на эти вызовы Министерство гражданской администрации КНР ввело ряд нормативных актов, направленных на стандартизацию похоронной сферы и продвижение экологически устойчивых практик. Согласно материалам серии репортажей «Новый ветер сметает старые обычаи» (Сун Цзыцзе и Сяо Цунцун, 2025), государство активно поощряет экологические захоронения – древесные – захоронение урны под саженцем, цветочные – в цветнике, травяные – на газоне без маркировки, морские – рассеивание праха в море после кремации, предоставляя субсидии и бесплатные услуги для граждан, выбирающих такие формы [5]. В Пекине, например, жители, выбирающие морское или природное захоронение, могут получить ряд бесплатных услуг (бальзамирование, кремация, транспортировка) и субсидию провайдеру услуг. При этом, как сообщает издание The Star со ссылкой на China Daily, платные коммерческие варианты древесных захоронений – отдельное дерево или особое место – также доступны на рынке, что создает дифференциацию экологических услуг по ценовому и статусному признаку [6].

Конкретные практики эколопогребений, внедряемые в китайских кладбищах, наглядно демонстрируют логику государственной политики. В ряде мемориальных парков, как описывается в репортажах 2025 года, урны изготавливаются из биоразлагаемых материалов, которые растворяются в почве за несколько лет, после чего место захоронения может быть использовано повторно [5; 6]. Например, в одном из парков провинции Хэнань практикуются захоронения под соснами и золотыми османтусами: сосна символизирует долголетие, а цветущий османтус ежегодно наполняет воздух ароматом – «словно те, кто покоится здесь, продолжают вносить вклад в окружающую среду» [6]. Семьи находят своих близких не по индивидуальному памятнику, а по общей мемориальной стене, где фиксируется, под каким деревом захоронены урны. В Пекине, как сообщает Сун Цзыцзе, практикуются коллективные древесные захоронения без индивидуальной маркировки – только общая зона, где семьи могут оставить цветы или молча помянуть усопших [5]. Как рассказывает одна из жительниц Пекина, чья се-

мья встала в очередь на такое захоронение для деда, ожидание может составить до года. При этом ее бабушка, похороненная ранее в традиционной могиле, будет перезахоронена под деревом, поскольку срок аренды участка истекает. «Раньше мы думали, что большой надгробный камень – знак уважения, – говорит она. – Но теперь мы чувствуем: проявлять любовь и заботу, пока член семьи жив, важнее» [5].

Именно в этом высказывании – ключ к пониманию того, как культурная память адаптируется к новым условиям. Конфликт между традицией и политикой можно описать на трех уровнях. Первый – пространственный: традиционная могила – это уникальная точка на карте, куда семья приходит с подношениями. Древесное захоронение без индивидуальной маркировки лишает семью этого топографического якоря, а через несколько лет урна исчезает и участок переиспользуется [5, 6]. Государство предлагает взамен мемориальную стену или общую зону, но ритуальная практика, строившаяся веками на конкретном «здесь и сейчас», сталкивается с необходимостью радикальной трансформации. Второй уровень – моральный: сыновья почтительность в конфуцианской традиции, как отмечает Цзинь Фэнлинь, измерялась в том числе размером и качеством захоронения [1]. Экопогребение может восприниматься старшим поколением как пренебрежение. Как сообщается в репортажах, поначалу на экозахоронения соглашались лишь одинокие пожилые люди без наследников – им не нужно было место для визитов, а услуга была бесплатной. Однако сегодня ситуация меняется: среди образованных пожилых людей появляется понимание древесного захоронения как «последнего значимого вклада в общество» [6]. Третий уровень – временной: традиционная могила существует поколениями, как показывают исторические примеры священных рощ фэн-шуй [1; 2], а биоразлагаемая урна рассчитана на несколько лет. Государственная политика исходит из логики дефицита земли и оборота участков; культурная память – из логики вечности. Этот разрыв темпоральностей представляет собой, возможно, самый глубокий аспект конфликта.

Показателен пример женщины, которая завещала свое тело для медицинских исследований, а прах просила захоронить под деревом [6]. Ее муж и дети впоследствии выразили желание последовать тому же пути. В этом случае экологическое захоронение становится не вынужденным компромиссом с государственной политикой, а сознательным этическим выбором, соединяющим даосскую гармонию с природой и современное экологиче-

ское сознание. Как отмечает молодой ученый Лю Лук в исследовании экологических и культурных последствий традиционных захоронений, в Китае растет понимание того, что «почтение к предкам может выражаться не только в сохранении могилы, но и в заботе о земле, которая остается живым» [5]. Сами китайские исследователи (Chen et al., 2017) призывают критически наследовать традицию, сохраняя конфуцианскую сыновнюю почитательность, буддийскую экономичность, даосскую гармонию с природой и научные аспекты фэн-шуй, но отказываясь от суеверий и экологически вредных практик [2].

Таким образом, экологизация похоронных практик в современном Китае представляет собой сложный, противоречивый процесс. Государственная политика, подкрепленная нормативными актами и субсидиями, продвигает модель захоронения, ориентированную на экономию земли и экологическую устойчивость [3, 5]. Тысячелетняя культурная память, сформированная конфуцианством, даосизмом, буддизмом и фэн-шуй [1, 2], продолжает оказывать сопротивление радикальной трансформации. Между этими полюсами располагаются семьи и индивиды, которые пытаются найти компромисс: сохранить память о предках, но в новой, экологически ответственной форме; отказаться от грандиозных надгробий, но не от самого акта поминовения; принять логику возвращения природе, но не потерять точку привязки для скорби. Как отмечает старший научный сотрудник Министерства гражданской администрации КНР Го Линь в официальном комментарии, «задача государства – не разрушать традицию, а бережно сопровождать ее трансформацию в направлении, отвечающем вызовам современности» [3]. Именно в этом сочетании государственного регулирования, культурной инерции и индивидуального этического выбора заключается специфика китайского пути экологизации похоронных практик – пути, на котором конфликт между памятью и политикой становится не тупиком, а двигателем постепенной трансформации.

Список используемых источников

1. The Star. Eco-burials take root in China's funeral industry // China Daily. 2025. 15 March. URL: <https://www.thestar.com.my/aseanplus/aseanplus-news/2025/04/05/eco-burials-take-root-in-china-s-funeral-industry> (дата обращения: 04.04.2026).
2. Chen Xiaomin, Wang Bei, Li Chunhong, Huang Zhuo, Zhang Hong, Cheng Ai, Yu Xiaofang. A Discussion on Contemporary Chinese Cemetery Construction: In the Sight of Funeral Comparison between Chinese and Western Culture // 2017 International Conference on Culture, Education and Financial Development of Modern Society (ICCESE 2017). Paris: Atlantis Press, 2017. С. 1-5. URL: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/iccese-17> (дата обращения: 04.04.2026).

3. Guo Lin. Cultivating a Modern and Civilized Funeral Culture: official commentary on the amended Funeral Management Regulations // [moj.gov.cn](http://www.moj.gov.cn). 2026. № 1. С. 1–12. URL: <http://www.moj.gov.cn> (дата обращения: 04.04.2026).

4. Fenglin J. Research on Chinese death culture. Beijing: Minzu University of China Press, 1999. 310 с.

5. Liu L. Environmental and Cultural Impacts of Chair-Shaped Tombs in Wenzhou, China // Proceedings of the 2025 7th International Conference on Economic Management and Cultural Industry (ICEMCI 2025). Амстердам: Atlantis Press, 2025. С. 234-241. URL: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/icemci-25> (дата обращения: 04.04.2026).

6. Song Zijie, Xiao Congcong. How can the funeral industry achieve a green transformation?: a series of reports «New wind sweeps away old customs» // People's Daily Online. 2025. URL: <https://www.chinadaily.com.cn/a/202507/17/WS68785ff6a310ad07b5d90714.html> (дата обращения: 04.04.2026).

Статья представлена научным руководителем, доцент кафедры ИиРВ СПбГУТ, кандидатом исторических наук Т. В. Молчановой.

УДК659.18

ЭВОЛЮЦИЯ РЕКЛАМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ: ОТ СМИ ДО ТАРГЕТИНГА В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

А. А. Никифороенко (студент группы 414БА, Институт бизнеса
Белорусского государственного университета),
anastasia.nikiforenko.sb@gmail.com

В рамках данной статьи рассмотрены условия для формирования высшими учебными заведениями предпосылок для ведения маркетинговых коммуникаций. Переход университетов к использованию социальных сетей в продвижении своего бренда описан через анализ эволюции глобального рекламного рынка, в статье также проведен анализ ключевых рекламных каналов, используемых университетами России, Беларуси и США.

маркетинговые стратегии для высшего образования, рекламные коммуникации, таргетинг в социальных сетях, социальные сети

THE EVOLUTION OF ADVERTISING COMMUNICATIONS IN THE HIGHER EDUCATION SYSTEM: FROM MASS MEDIA TO TARGETING ON SOCIAL NETWORKS

Nikiforenko A.
School of Business, Belarusian State University

This article examines the prerequisites for the formation of prerequisites for marketing communications by higher education institutions. The article also analyzes the transition of universities' advertising campaigns to social networks in the context of the evolution of the global advertising market as well as the key advertising channels used by universities in Russia, Belarus and the USA.

Key words: *higher education marketing strategies, advertising communications, social media targeting, social networks*

В течение последних десятилетий система высшего образования как в странах бывшего СССР, так и по всему миру претерпела значительные изменения в части подходов к конкуренции за абитуриентов под влиянием макроэкономических, социальных и технологических тенденций. Развитие Интернета, унификация международных образовательных программ, внедрение единых выпускных экзаменов для школьников снизило территориальные барьеры для будущих студентов, что обострило конкуренцию между университетами как на национальном, так и на международном

уровне [1-5]. Высшие учебные заведения также сталкиваются с растущей конкуренцией со стороны средних специальных учебных заведений, ростом числа различных форматов профессиональной подготовки (курсы, вебинары, интенсивы и т.д.), а также появлением новых инструментов для самообразования – от общедоступных интернет-энциклопедий до чат-ботов.

Вместе с тем, в течение последних десятилетий стоимость обучения в высших учебных заведениях как в странах постсоветского пространства, так и по всему миру в среднем росла быстрее, чем доходы домохозяйств. Так, в США средняя стоимость обучения в университете за последние 25 лет выросла на 60 % при среднем росте дохода людей с высшим образованием на 5 %. В России разница между темпами роста платы за обучение и динамикой заработных плат в среднем не столь велика, но на уровне ведущих вузов рост стоимости обучения также оказывается кратно выше роста заработных плат.

Описанная выше конъюнктура привела к профессионализации рынка образовательных услуг – его участники стали применять те маркетинговые подходы и инструменты, которые используются и на других рынках. В частности, университеты стали полноценными участниками рекламного рынка, инвестируя во все виды рекламы – от наружной рекламы и рекламы в традиционных СМИ до всех видов Интернет-рекламы. При этом, рекламная стратегия университетов эволюционирует в русле тенденций развития рекламного рынка.

Трансформация, которую рекламный рынок пережил в течение последних 25 лет, представляется крупнейшей в истории индустрии. Как следует из таблицы 1, печатные СМИ, которые занимали до половины мирового рынка рекламы, утратили ведущую роль, будучи вытесненными сперва телевидением, а затем цифровой рекламой, доля которой к настоящему моменту приблизилась к 60 % и продолжает расти за счет своего эксклюзивного преимущества в виде возможности ее показа целевой аудитории, отбираемой на основе десятков параметров – пол, возраст, география, доход и многие другие.

При этом, внутри растущего рынка цифровой рекламы также происходит изменение структуры рекламного бюджета. Реклама в социальных сетях стала крупнейшим сегментом рынка цифровой рекламы, уступая только поисковой рекламе. В 2025 году на рекламу в социальных сетях приходилось 32,1 % расходов на цифровую рекламу (в 2020 году – 28,7 %), по темпам

роста этот сегмент уступал только ритейл-медиа (23,7 % и 13,3 % в 2025 и 2020 гг. соответственно).

ТАБЛИЦА 1. Структура глобального рынка контентной рекламы по доле выручки, 2000-2024, %

Category	2000	2004	2008	2012	2016	2020	2024
Газеты	36.42 %	34.76 %	29.04 %	22.37 %	15.18 %	7.99 %	5.12 %
Журналы	17.15 %	15.82 %	15.5 %	11.4 %	8.29 %	4.75 %	2.74 %
Радио	9.43 %	9.39 %	8.54 %	8.83 %	8.42 %	5.63 %	4.48 %
ТВ	33.43 %	36.55 %	38.12 %	44.01 %	43.74 %	33.88 %	27.06 %
Цифровая реклама и соцсети	3.57 %	3.47 %	8.8 %	13.39 %	24.36 %	46.85 %	59.53 %
Игры	0 %	0 %	0 %	0 %	0.01 %	0.91 %	1.07 %

Структура маркетинговых расходов высших учебных заведений за этот период претерпела еще большие изменения. Если в начале 21 века университеты (как в странах Запада, так и на постсоветском пространстве) могли рекламировать себя почти исключительно в печатных изданиях (из-за дороговизны телерекламы), то в настоящее время подавляющее большинство маркетинговых кампаний высших учебных заведений проводятся в интернете по причине их дешевизны и неэффективности печатной рекламы во взаимодействии с молодой аудиторией.

Инвестиции высших учебных заведений в цифровую рекламу в целом развиваются в русле общих тенденций развития рекламного рынка. Вместе с тем, специфика отрасли обуславливает существенные различия. Прежде всего, учебные заведения (равно как и другие производители услуг) редко прибегают к рекламе через ритейл-медиа (примером которых служат рекламные платформы маркетплейсов и баннерная реклама в интернет-магазинах). Поисковая реклама является значимым каналом для университетов, вместе с тем, целевая аудитория размещаемой университетами рекламы (дети и молодые люди) в среднем больше склонны к поиску информации внутри любимых социальных платформ.

Описанные выше факторы объясняют, почему исследования рекламных кампаний, проводимых высшими учебными заведениями в США на протяжении последних лет, фиксируют стабильное лидерство рекламы в социальных сетях среди всех прочих рекламных каналов. По данным за 2024 год, 98 % изученных бакалаврских программ в негосударственных

университетах продвигались с использованием рекламы в социальных сетях (для аналогичных программ в государственных университетах этот показатель достиг 92 %, для магистерских программ – 95 %). Традиционные же рекламные каналы, такие как ТВ, печатные издания, радио и наружная реклама, оказались существенно менее востребованными.

ТАБЛИЦА 2. Рекламные каналы, используемые американскими университетами в 2024 г., % от опрошенных

Рекламный канал	Бакалавриат, частные вузы	Бакалавриат, государственные вузы	Магистратуры
Реклама в соцсетях	98 %	92 %	95 %
Таргетированная реклама	86 %	69 %	80 %
Видеореклама	79 %	64 %	95 %
Баннерная реклама	89 %	70 %	85 %
Радио	48 %	46 %	90 %
ТВ	33 %	36 %	75 %
Наружная реклама	58 %	65 %	85 %
Печатные СМИ	66 %	71 %	85 %

Как следует из таблицы 2, реклама в социальных сетях также в среднем оказалась наиболее эффективным инструментом продвижения среди всех видов рекламы. Дополнительно эффективность данного инструмента иллюстрируют данные в динамике – с 2020 г. во всех рассматриваемых сегментах высшего образования выросла доля программ, использующих продвижение в социальных сетях (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Доля образовательных программ американских университетов, рекламируемая в социальных сетях, 2020-2024, %

Период	Бакалавриат, частные вузы	Бакалавриат, государственные вузы	Магистратуры
Использовали в 2020, %	84 %	81 %	70 %
Использовали в 2024, %	98 %	92 %	95 %
Изменение, п.п.	+14	+11	+25

Не располагая подобной статистикой в отношении высших учебных заведений Союзного государства, автор, однако, может предположить, что социальные сети также являются эффективным каналом продвижения бренда образовательного учреждения, поскольку на сегодняшний день все высшие учебные заведения России и Беларуси имеют страницы в социальных сетях для продвижения собственного бренда. При этом университеты могут поддерживать не только официальные страницы и приобретать рекламу через рекламные платформы соцсетей, но и поощрять развитие неформальных студенческих сообществ и даже отдельных студентов – «амбассадоров» учебного заведения.

Маркетинговые стратегии большинства зарубежных вузов также предполагают развитие своего бренда сразу в нескольких социальных сетях, что позволяет взаимодействовать с потенциальными студентами в мультиканальном формате, применяя разные подходы к коммуникации с ними. Об этом свидетельствуют данные об активности американских высших учебных заведений в соцсетях, показанные в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4. Цифровые платформы, используемые американскими университетами в рекламных целях, 2020-2024, % от общего числа опрошенных вузов

Платформа		2020	2022	2024
Instagram *	Бакалавриат, частные вузы	55 %	94 %	93 %
	Бакалавриат, государственные вузы	53 %	97 %	87 %
YouTube	Бакалавриат, частные вузы	64 %	72 %	81 %
	Бакалавриат, государственные вузы	52 %	82 %	66 %
TikTok	Бакалавриат, частные вузы	n/a	45 %	60 %
	Бакалавриат, государственные вузы	n/a	53 %	35 %
Facebook*	Бакалавриат, частные вузы	56 %	97 %	81 %
	Бакалавриат, государственные вузы	51 %	91 %	89 %
Snapchat	Бакалавриат, частные вузы	83 %	51 %	51 %
	Бакалавриат, государственные вузы	50 %	53 %	45 %
X (Twitter)	Бакалавриат, частные вузы	87 %	61 %	51 %
	Бакалавриат, государственные вузы	57 %	56 %	52 %
Стриминговые сервисы	Бакалавриат, частные вузы	n/a	32 %	38 %
	Бакалавриат, государственные вузы	n/a	32 %	40 %

* соцсеть запрещена в РФ; принадлежит корпорации Meta, которая признана в России экстремистской организацией

Прямое сравнение американских высших учебных заведений и университетов Союзного государства по «географии» их присутствия в социальных сетях представляется не вполне корректным из-за наличия в России собственных популярных социальных сервисов, а также ограничений, наложенных на работу ряда иностранных сервисов из-за нарушения ими российского законодательства. Вместе с тем, на основе имеющихся данных можно определить, платформы какого типа платформы представляются наиболее эффективными в работе с потенциальными абитуриентами высших учебных заведений. Как можно заключить из таблицы 4, наибольшее распространение на рынке США получили платформы, ориентированные на визуальный контент (прежде всего, короткие вертикальные видео) – Instagram *, TikTok и YouTube. Платформы же, ориентированные на текстовый (Facebook*, X/Twitter) и live-контент (Snapchat, стриминговые сервисы) пользуются сравнительно меньшей популярностью. Применяя эти критерии к платформам, популярным на территории Союзного государства, автор может предположить, что более перспективными для продвижения брендов из сферы высшего образования представляются Telegram (воспринимаемый молодежной аудиторией как сервис визуального контента), VK Клипы и Rutube, в то время как VK и МАХ (в своем текущем функционале) представляются менее адаптированными под рассматриваемую задачу.

Подводя итог, можно сделать вывод, что социальные сети стали ключевым каналом маркетинговых коммуникаций для высших учебных заведений. Потенциал расширения аудитории этого рекламного инструмента в значительной степени использован, вместе с тем, эффективность его использования сохраняет перспективу для дальнейшего роста по мере обогащения инструментов социальных сетей для таргетинга рекламных кампаний.

Список используемых источников

1. Digital 2026 Global Overview Report [Электронный ресурс] // DataReportal. Global Digital Insights 2025: 2025. URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2026-global-overview-report> (дата обращения: 30.03.2026).
2. Trends in College Pricing and Student Aid 2025 [Электронный ресурс] // College Board: 2025. URL: <https://research.collegeboard.org/trends/college-pricing/highlights> (дата обращения: 30.03.2026).

* соцсеть запрещена в РФ; принадлежит корпорации Meta, которая признана в России экстремистской организацией

3. WPP Media Global Advertising Forecast: Global ad revenue set to reach \$1.14 trillion [Электронный ресурс] // WPP Media: 2025. URL: <https://www.wppmedia.com/news/report-this-year-next-year-december-2025> (дата обращения: 31.03.2026).

4. 2022 Marketing and Recruitment Practices for Undergraduate Students [Электронный ресурс] // RNL: 2022. URL: https://learn.ruffalonl.com/rs/395-EOG-977/images/2022_RNL_Marketing_Recruitment_Practices_Undergraduate.pdf (дата обращения: 01.04.2026).

5. 2025 Marketing and Recruitment Practices for Undergraduate Students [Электронный ресурс] // RNL: 2025. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED675387.pdf> (дата обращения: 30.03.2026).

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом педагогических наук, доцентом кафедры маркетинга БГУ
М. В. Лесниченко-Роговской.*

УДК 336.71

ИНТЕГРАЦИЯ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИИ В РОССИЙСКИЙ БАНКОВСКИЙ СЕКТОР НА ПРИМЕРЕ ЦИФРОВЫХ ФИНАНСОВЫХ АКТИВОВ

Д. А. Пантелеев (студент группы ЭМ-21, СПбГУТ), panteleev.da@sut.ru

В статье рассматривается интеграция блокчейн-технологии в российский банковский сектор на примере цифровых финансовых активов (ЦФА). Показано, что в условиях цифровой трансформации экономики блокчейн становится технологической основой новых финансовых решений, связанных с выпуском, учетом и обращением ЦФА, а также с автоматизацией отдельных банковских процессов. На основе кейсов Альфа-Банка, МТС Банка, ВТБ и Сбербанка проанализированы основные направления и формы практического применения блокчейн-решений. Особое внимание уделено развитию платформ ЦФА, масштабированию эмиссионной инфраструктуры и использованию смарт-контрактов. По результатам исследования сделан вывод о том, что ключевым направлением коммерческого применения блокчейна в российском банковском секторе выступает рынок цифровых финансовых активов, демонстрирующий значительный рост и высокий потенциал дальнейшего развития.

блокчейн-технология, банковский сектор, цифровые финансовые активы, оператор информационной системы, блокчейн-решения, смарт-контракты

INTEGRATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY INTO THE RUSSIAN BANKING SECTOR USING THE EXAMPLE OF DIGITAL FINANCIAL ASSETS

Panteleev D.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines the integration of blockchain technology into the Russian banking sector, using digital financial assets (DFAs) as a case study. It demonstrates that amid the digital transformation of the economy, blockchain is becoming the technological foundation for new financial solutions related to the issuance, accounting, and circulation of DFAs, as well as the automation of specific banking processes. Based on case studies of Alfa-Bank, MTS Bank, VTB, and Sberbank, the main directions and forms of practical application for blockchain solutions are analyzed. Particular attention is paid to the development of DFA platforms, the scaling of issuance infrastructure, and the use of smart contracts. The study concludes that the key area for the commercial application of blockchain in the Russian banking sector is the digital financial assets market, which is showing significant growth and high potential for further development.

Key words: blockchain technology, banking sector, digital financial assets, blockchain solutions, information system operator, smart contracts

В условиях цифровой трансформации экономики и финансового рынка блокчейн рассматривается как один из значимых инструментов развития новых форм хранения, передачи и верификации данных, а также как технологическая основа для цифровых финансовых решений. В последнее время российские банки перешли от экспериментального использования блокчейна к его практическому применению. Технология становится основой для новых цифровых сервисов: от выпуска и обращения цифровых финансовых инструментов до автоматизации расчетов и развития клиентских экосистем.

Для определения наиболее значимых направлений интеграции блокчейн-технологии целесообразно обратиться к кейсам крупнейших российских банков, различающихся по масштабу внедрения, набору реализуемых решений и степени интеграции блокчейна в действующую экосистему.

Ключевым блокчейн-решением Альфа-Банка выступает платформа цифровых финансовых активов «А-токен», запущенная 2 февраля 2023 года после включения в реестр операторов информационных систем (ОИС) ЦБ РФ. Платформа предназначена для выпуска, размещения и обращения ЦФА и позволяет эмитентам привлекать ликвидность через токенизированные права. Наилучшие результаты платформа показала в 2025 году, став крупнейшим оператором ЦФА по объему эмиссии (362,4 млрд руб.), заняв 40,5 % рынка [1].

Еще одним направлением применения блокчейна в Альфа-Банке стало совместное решение в 2020 году с Waves Enterprise и APiBank об автоматизации работы с самозанятыми. Блокчейн Waves Enterprise обеспечивает безопасный обмен данными между платформой и банком, а APiBank предоставляет стандартизированные интерфейсы для интеграции в системы бизнеса [2].

Отдельного внимания заслуживает проект Distributed Treasury and Cash Management (DTCM) – первый в России блокчейн-сервис для управления казначейством и ликвидностью внутри холдинга, разработанный Альфа-Банком совместно с X5 Retail Group на базе платформы Waves Enterprise и запущенный в сентябре 2019 года. Все операции и лимиты хранятся в блокчейне на базе Waves Enterprise, а взаимодействие с банком осуществляется через усиленную квалифицированную электронную подпись (УКЭП) и смарт-контракты, что обеспечивает высокую прозрачность, неизменность записей и автоматизацию правил [3, 4].

МТС запустил в декабре 2023 года платформу «ЦФА ХАБ», оператором которой является дочерняя структура группы МТС – ООО «Блокчейн

Хаб», включенная в реестр операторов информационных систем Банка России. Платформа обеспечивает выпуск, размещение и обращение цифровых финансовых активов (ЦФА), а также хранение и учет прав в блокчейн-реестре с соблюдением российского регуляторного статуса оператора. Существенным этапом развития платформы МТС-Банка стали крупные выпуски ЦФА в 2025 году, оцененные в 121,8 млрд руб. [5].

В отличие от МТС и Альфа-Банка, в группе ВТБ акцент смещен в сторону масштабирования эмиссионной платформы.

В декабре 2024 года ЦБ РФ включил «ВТБ Капитал Трейдинг» в реестр операторов информационных систем. Это позволило ВТБ создать собственную площадку для выпуска, учета и обращения ЦФА [6].

Платформа строилась как инфраструктура, позволяющая эмитентам и инвесторам выпускать и торговать цифровыми аналогами облигаций, депозитов, кредитов и других финансовых инструментов, а также тестировать новые продукты, например «цифровой квадратный метр» и гибридные цифровые права на поставку оборудования.

Активная фаза развития пришлась на 2025 год, по результатам которого ВТБ Капитал Трейдинг вошел в число крупнейших операторов ЦФА по объему эмиссии (50 млрд руб.), совершив 12 выпусков ЦФА и заняв общую долю в 5,6 % всего рынка [7].

Наиболее комплексный подход к развитию блокчейн-технологий демонстрирует Сбербанк. В январе 2018 года Сбербанк открыл отдельное подразделение в своей экосистеме – Лаборатория блокчейн. Подразделение выполняет исследовательские и прикладные функции, включая разработку решений на блокчейне и технологии распределенного реестра в целом, а также создание и внедрение соответствующих проектов [8].

В июле 2022 года Сбербанк запустил свою платформу ЦФА, которая позволяет эмитентам выпускать собственные ЦФА, удостоверяющие денежные требования, а инвесторам – приобретать, учитывать и предъявлять их к погашению в рамках единой информационной системы банка [9].

Помимо платформы ЦФА, в экосистеме Сбербанка реализован конструктор смарт-контрактов, которые могут быть разработаны и применены в следующих направлениях:

- расчеты через номинальные счета (B2B-сделки);
- выпуск и управление ЦФА;
- решения в сфере web3 и DeFi.

Сбер заявляет, что в конструкторе смарт-контрактов реализована возможность создавать и настраивать контракты, которые повышают скорость и безопасность финансовых операций [10].

По мере развития своей платформы ЦФА, Сбербанк перешел от сравнительно небольших объемов размещения (менее 2 млрд руб. в 2023 году) к существенно более масштабным показателям – объем ЦФА-выпусков на платформе Сбера в 2025 году вырос до 408 млрд руб. – это в 5,6 раз больше, чем в 2024 году, и в 204 раза больше, чем в 2023 году [11].

Рассмотренные блокчейн-решения популярных российских банков свидетельствуют о том, что технология стала частью широкой цифровой инфраструктуры, которая показывает значительные темпы роста. Например, рынок цифровых финансовых активов стремительно развивается и уже насчитывает 19 участников – операторов информационных систем (в т. ч. рассмотренные выше). По объему размещений с 2023 по 2025 гг. рынок ЦФА продемонстрировал значительный рост в 21,01 раза (с 32,65 млрд руб. до 686 млрд руб.), показав наибольший прирост в 2025 году, а всего к концу того же года компании разместили ЦФА общим объемом 1,65 трлн руб. (рис. 1) [12].

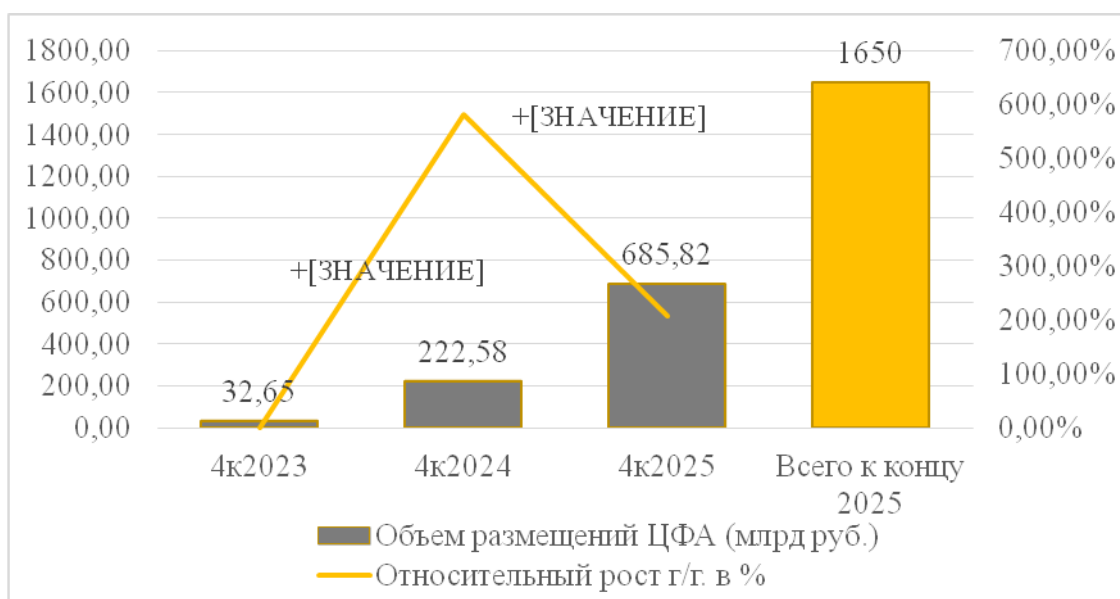


Рис. 1. Рост рынка ЦФА (2023-2025 гг.), в млрд руб. [13]

Количество размещений за тот же период выросло с 35 во 2-м квартале 2023 года до 1362 к концу 2025 года, а объем рынка ЦФА за 3 года вырос с 17 млрд руб. до 690 млрд руб. (рис. 2) [12].

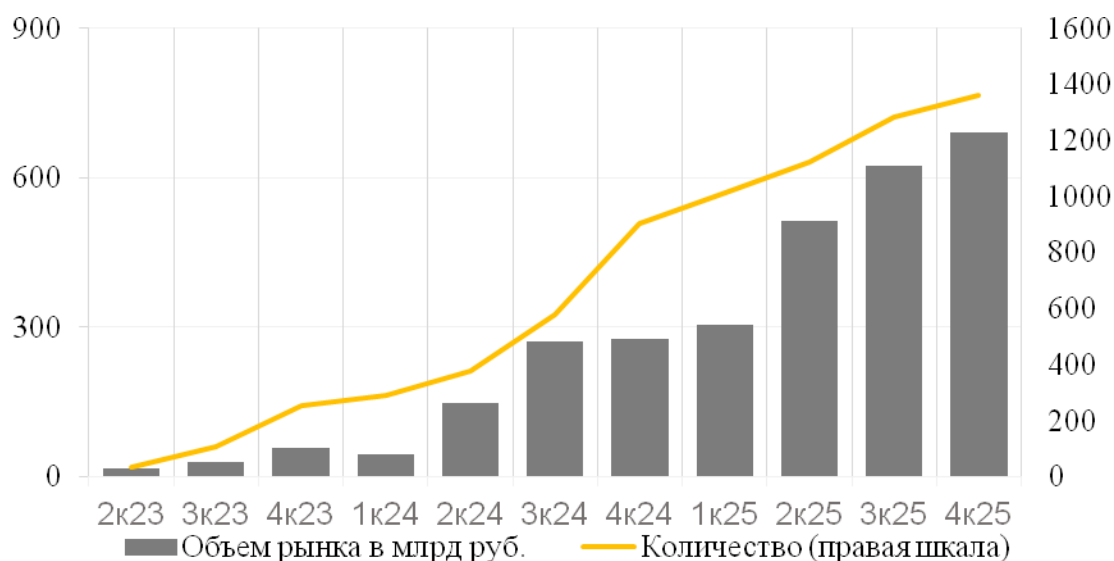


Рис. 2. Объем рынка ЦФА (2023-2025 гг.), в млрд руб. [13]

Таким образом, рассмотренные кейсы свидетельствуют о различии масштабов и форм внедрения технологий у отдельных банков, однако в целом подтверждают, что именно сегмент ЦФА стал основным направлением ее коммерческого применения и одним из наиболее динамично развивающихся элементов современной финансовой инфраструктуры.

Список используемых источников

1. Платформа цифровых финансовых активов А-Токен [Электронный ресурс]. URL: [https://alfabank.ru/corporate/a-token/?utm_referrer=https %3a %2f %2fyandex.ru %2f](https://alfabank.ru/corporate/a-token/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f) (дата обращения: 01.04.2026).
2. Forklog. Решение от Альфа-Банка для самозанятых, контроль за налогами и другие блокчейн-инициативы [Электронный ресурс]. URL: <https://forklog.com/news/reshenie-ot-alfa-banka-dlya-samozanyatyh-kontrol-za-nalogami-i-drugie-blokchejn-initsiativy/> (дата обращения: 01.04.2026).
3. COMNEWS. Альфа-Банк прибегнул к BaaS и блокчейну [Электронный ресурс]. URL: <https://www.comnews.ru/content/121980/2019-09-13/alfa-bank-pribegnul-k-baas-i-blokcheynu> (дата обращения: 02.04.2026).
4. АО «АЛЬФА-БАНК». Распределенная система управления казначейством и денежными средствами для Альфа-Банка [Электронный ресурс]. URL: https://storage.yandexcloud.net/project-web3tech.ru/case_cash_pooling_a77b41147a.pdf (дата обращения: 02.04.2026).
5. Юргелас М. В. Цифровые финансовые активы: проблемы роста // НИУ ВШЭ. URL: <https://www.hse.ru/mirror/pubs/share/1132565471.pdf> (дата обращения: 04.04.2026).
6. Банк России. Решение Банка России в отношении: Общество с ограниченной ответственностью ВТБ Капитал Трейдинг [Электронный ресурс]. URL: <https://cbr.ru/finorg/foinfo/rbr/?inn=7710872947> (дата обращения: 02.04.2026).
7. TADviser. ЦФА в России [Электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Цифровые_финансовые_активы_в_России (дата обращения: 03.04.2026).

8. SberLabs. Лаборатория блокчейна [Электронный ресурс]. URL: <https://sberlabs.com/laboratories/laboratoriya-blockchain> (дата обращения: 03.04.2026).
9. Sber. Платформа «Цифровые активы» [Электронный ресурс]. URL: <https://dfa.sber.ru/dfa?tab=ListDFA> (дата обращения: 04.04.2026).
10. Sber.Pro. Web3 в большом бизнесе: тренды, теория и практика [Электронный ресурс]. URL: <https://sber.pro/publication/web3-v-bolshom-biznese-trendi-teoriya-i-praktika/> (дата обращения: 04.04.2026).
11. CNEWS. В 2025 году на платформе цифровых активов «Сбера» выпущено ЦФА объемом свыше 400 млрд рублей [Электронный ресурс]. URL: https://banks.cnews.ru/news/line/2026-02-02_v_2025_godu_na_platforme_tsifrovyyh (дата обращения: 04.04.2026).
12. Банк России. Годовой отчет Банка России – 2025 г. [Электронный ресурс] URL: https://cbr.ru/collection/collection/file/59752/ar_2025.pdf (дата обращения: 04.04.2026)
13. Банк России. Обзор финансовых инструментов за 2025 год [Электронный ресурс]. URL: https://cbr.ru/Collection/Collection/File/59743/fi_review_2025.pdf (дата обращения: 04.04.2026).

Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем кафедры ЭД СПбГУТ, кандидатом экономических наук, Т. И. Ююкиной.

УДК 008

«ДА БУДЕТ НЕФТЬ»! О ФИЛЬМЕ ПОЛА ТОМАСА АНДЕРСОНА И НОВОМ ПОНИМАНИИ ПУРИТАНСКОЙ ЭТИКИ В НАЧАЛЕ XX ВЕКА В США

С. Д. Проворов (студент группы ЗР-32, СПбГУТ), provorov.sd@sut.ru
В. Л. Селиверстов (к.ф.н., доцент кафедры СПН СПбГУТ)

Фильм Пола Томаса Андерсона «Нефть» (2007 г.) рассматривается как художественное исследование кризиса пуританской этики в начале XX века в США. Его анализ опирается на концепцию протестантской этики социолога Макса Вебера и разбирает конфликт нефтедобытчика и проповедника как столкновение нового типа капиталиста с пуританскими ценностями. Капитализм становится новой формой религии американского общества.

фильм «Нефть», пуританская этика, капитализм, символика нефти

"LET THERE BE OIL!" – ON PAUL THOMAS ANDERSON'S FILM AND A NEW UNDERSTANDING OF PURITAN ETHICS IN THE EARLY 20TH-CENTURY UNITED STATES

Provorov S., Seliverstov V.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The film "There will be blood" (2007) by Paul Thomas Anderson is regarded as an artistic exploration of the crisis Puritan ethics in early 20th-century America. Its analysis draws on sociologist Max Weber's concept of the Protestant ethic and examines the conflict between the oilman and the preacher as a clash between a new type of capitalist and Puritan values. Capitalism becomes a new form of religion in American society.

Key words: film "There will be blood", Puritan ethics, capitalism, symbolism of oil

Начало XX века ознаменовано началом индустриального бума в энергетике и в области нефтедобычи, на фоне которого происходил кризис духовных традиционных институтов. В таких условиях в США быстро сформировался новый социальный тип капиталиста, способного превзойти предпринимателей эпохи золотой лихорадки по уровню беспринципности, жажды наживы и власти.

Картина Пола Томаса Андерсона «Нефть» (ориг.: «There will be blood»), вышедшая в 2007 г., отразила в себе не только исторический контекст начала эпохи нефтедобычи в США, но и обратила внимание зрителей

на столкновение двух культур: пуританства и капитализма. Андерсон фиксирует момент замещения пуританской трудовой этики идеологией капитала, где моральное оправдание успеха утрачивает религиозные основания.

Прежде чем обратиться к анализу фильма Андерсона, необходимо обозначить этическую систему начала XX века, о которой идет речь. Пуританская этика, возникшая в XVI-XVII веках на базе кальвинистской Реформации, на протяжении нескольких столетий оставалась одним из главных базисов американского мировоззрения. Ее классическое описание в 1905 г. дал немецкий социолог Макс Вебер в своей работе «Протестантская этика и дух капитализма», где он продемонстрировал, как религиозные идеи кальвинизма – представление о предопределении, аскеза, понимание труда как «призвание» – парадоксальным образом способствовали формированию раннекапиталистического менталитета. В рамках пуританской традиции успех в мирских делах воспринимался не как самоцель, а как знак *бogoизбранности*. Богатство следовало накапливать, но не тратить на роскошь, ибо оно посвящено не мирскому и человеческому, но сакрально принадлежало Богу. Труд был формой *служения* этому богатству, а общинная ответственность – непременным условием сохранения диалога Неба и земли. Подобная система создавала нравственный фундамент, благодаря которому развитие капитализма получало некое моральное обоснование [1]. Однако, к началу XX века, в эпоху индустриальной эволюции, монополизации и стремительной урбанизации, этот фундамент начал рушиться.

Пуританская этика, некогда стимулировавшая накопление, утратила свои регулятивные механизмы. Аскеза сменилась открытой демонстрацией культуры потребления, общинная солидарность – культом индивидуализма. Религиозность сохранялась, но все чаще использовалась для прикрытия собственных интересов, которые были далеки от пуританских идеалов, некогда вытекших из кальвинизма. Протестантские церкви, которые раньше выполняли роль морального арбитра, либо прямо интегрировались в капиталистическую систему, либо максимально от нее отсекались.

Именно этот парадокс ставит в центр своей картины Пол Томас Андерсон. В фильме «Нефть» отражен момент исторического сдвига, когда капитал обособливается от морали. Режиссер отразил не только эпоху активной нефтедобычи, но и подмену идей. История, показанная в картине – не просто конфликт бизнесмена и проповедника, но и более глубокий процесс, охвативший всю Америку: замещение одной системы ценностей другой, при этом внешние атрибуты пуританской традиции (самоотверженный

труд, община) продолжают существовать в новых реалиях, но уже как фон или инструмент власти.

Фильм снят по мотивам романа Эптона Синклера «Нефть» (ориг.: «Oil!»), который был опубликован в 1926–1927 годах в Соединенных Штатах. Однако книга была использована лишь как идея, и фильм снят практически по оригинальному сценарию Пола Томаса Андерсона. Еще до начала съемок режиссер решил, что роль главного героя сыграет Дэниел Дэй-Льюис. Опираясь на прошлые работы и образ актера, Андерсон придумал основное действующее лицо картины – Дэниела Плейнвью, демонического нефтедобытчика – безжалостного, бессердечного, бесчеловечного. Имя персонажа – говорящее: в переводе с английского plainview – «всевидающий».

Сюжет «Нефти» строится вокруг трех периодов жизни Дэниела Плейнвью. Первый – 1907 г. Герой, который не произносит ни слова, занимается кустарной добычей серебра в Калифорнии. Итогом его стараний становится обнаружение месторождения нефти, что ознаменовывает начало «нефтяной лихорадки» в США. Второй период (1911 г.) разворачивается в отдаленных калифорнийских землях, где Плейнвью по стечению обстоятельств приобретает нефтеносные земли. Здесь же он знакомится со своим главным противником – местным самопровозглашенным пророком и главой местной церкви Элаем (Элай, в христианской традиции Илия, – имя ветхозаветного пророка, который должен явиться перед Вторым пришествием Христа). Причем имя звучит омонимично слову «ложь» (lie). Уже в этот момент зрителям демонстрируется, что церковь не может повлиять на капиталистическую экспансию, но при этом пытается получить свою долю. Третий эпизод жизни Плейнвью (1927 г.) замыкает хронологию картины. Сохранив и приумножив состояние, главный герой теряет все, что важно для человека с моральной точки зрения (в том числе приемного сына). В финальной сцене назревающее противостояние находит логическое разрешение. Дэниел вынуждает Элая признаться в ложности его пророческого служения, если тот желает иметь нефтеносный участок [2]. После этого попросту забивает ложного пророка насмерть (символ побития камнями ложных пророков в Ветхозаветной истории). Сцена символически ознаменовала удар капитализма по пуританству, вытеснение морали цинизмом и алчностью.

Пол Томас Андерсон в своих работах часто прибегает к созданию парных персонажей. Так и в «Нефти»: Дэниел и Элай соперники, которые не лишены параллелей. Оба персонажа используют риторику служения, как

инструмент в достижении своих целей. Служение общине, семье, Богу в руках этих персонажей становятся прикрытием для получения власти или приумножения своих богатств. Важно отметить, что режиссер не просто противопоставляет капитализм и пуританство, он показывает трансформацию, итогом которой становится новая система, в которой капитализм обретает крайнюю форму цинизма, а пуританство теряет духовный фундамент. На фоне стремительного материального обогащения происходит нравственное обеднение обоих персонажей.

Одним из главных художественных приемов Андерсона является превращение нефти из природного ресурса в многоуровневый символ [3]. В какой-то момент черное золото становится мистической субстанцией. В течение фильма она олицетворяет, как и кровь земли, которую жадно выкачивают желающие обогащения, так и кровь людей, которые погибали по ходу пути к материальному успеху. Не случайно для названия фильма выбрана фраза из описания грядущих египетских казней фараону за то, что не отпускал евреев из рабства из книги Исхода «и будет кровь!» (Исх 7:19). Выглядит она как парафраз из первых стихов книги Бытия «Да будет свет!».

В фильме присутствует сцена, которую можно трактовать как «нефтяное крещение»: рабочий мажет лоб младенца нефтью вместо елеосвящения в момент христианского крещения в воде. Однако в отличие от религиозного обряда, где вода символизирует очищение от греха и вхождение в церковную общину, крещение нефтью олицетворяет вхождение в новую, капиталистическую общину. Отныне ребенок не крещен перед Богом, а представлен перед обновленным обществом Америки, где единственным божеством стало обогащение. В сакральном смысле это может символизировать принадлежность к египетскому проклятию: свобода подменяется рабством перед идолом нефти.

Так Андерсон приходит к главному тезису своей работы: бизнес становится главной религией XX века. При этом церковь не исчезает как институт. Она подстраивается под новую эпоху. Паства Элая продолжает существовать, расширяться на деньги капиталистов. Церковь теряет свою автономность и вовлекается во всепоглощающее стремление бесконечным богатствам. Даже проповедь Элая подвергается метаморфозам, к концу фильма она все больше походит на коммерческое шоу, а не на собрание верующих. Пол Томас Андерсон в очередной раз фиксирует не конфликт капитализма и пуританства, а их трансформацию в единое целое. Итогом этих

изменений создается капиталистическая этика, которая сохраняет пуританские ритуалы, но вытесняет духовность, замещая ее цинизмом и меркантилизмом.

Список используемых источников

1. Вебер М. Протестантская этика и дух капитализма: пер. с нем. М.: АСТ, 2026. 352 с. ISBN 978-5-17-133943-2
2. Яроцкий Ю. Американский порок // Коммерсантъ Weekend. 2008. № 6. С. 26.
3. Путь аморалиста: 10 лет фильму «Нефть» // lumiere URL: <https://lumiere.su/put-amoralista-10-let-filmu-neft/> (дата обращения: 08.04.2026).

УДК 130.2

ХУДОЖЕСТВЕННАЯ СТРУКТУРА КОРОТКОМЕТРАЖНОЙ АНИМАЦИИ К. БРОНЗИТА «МЫ НЕ МОЖЕМ ЖИТЬ БЕЗ КОСМОСА»: ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ И ВИЗУАЛЬНЫЙ ОБРАЗ

В. Л. Селиверстов (к.ф.н., доцент кафедры СПН СПбГУТ)

С. И. Яковенко (студент группы ЗР-32, СПбГУТ), iakovenko.si@sut.ru

Короткометражный анимационный фильм Константина Бронзита «Мы не можем жить без космоса» рассматривается как произведение, в котором смысл формируется не только на сюжетном, но и на структурно-художественном уровне. Актуальность работы связана с необходимостью более внимательного анализа художественной структуры современных анимационных произведений, поскольку при их интерпретации исследовательский акцент нередко смещается в сторону эмоционального содержания, тогда как пространственная композиция, временная структура и система визуальных образов остаются в втором плане. В центре исследования находится художественная структура фильма, выстроенная через пространство, время и визуальный образ. Цель работы заключается в том, чтобы выявить, каким образом именно эти элементы формируют смысл произведения и изменяют восприятие его основного сюжета.

Константин Бронзит, «Мы не можем жить без космоса», русский космизм, короткометражный фильм

THE ARTISTIC STRUCTURE OF K. BRONZIT'S ANIMATED SHORT FILM «WE CAN'T LIVE WITHOUT COSMOS»: SPACE, TIME, AND VISUAL IMAGERY

Seliverstov V., Yakovenko S.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

Konstantin Bronzit's animated short film We Can't Live Without Cosmos is examined as a work in which meaning is formed not only at the level of plot, but also through its structural and artistic organization. The relevance of this study is connected with the need for a more attentive analysis of the artistic structure of contemporary animated works, since in their interpretation the research focus is often shifted toward emotional content, while spatial composition, temporal structure, and the system of visual imagery remain in the background. The study focuses on the artistic structure of the film, shaped through space, time, and visual imagery. The aim of the work is to identify how these elements form the meaning of the work and change the perception of its main plot.

Key words: Konstantin Bronzit, "We can't live without cosmos", Russian cosmism, animation

Короткометражный анимационный фильм Константина Бронзита «Мы не можем жить без космоса» (2015) при внешней простоте сюжета – двое друзей с детства готовятся к полету в космос, один из них погибает при запуске, второй, не выдержав утраты, пробивает потолок и улетает вслед за ним – обнаруживает в себе сложную художественную структуру. Исследовательский акцент, зачастую, смещается в сторону эмоционального содержания, например в тему дружбы, мечты, человеческого горя, тогда как пространственная композиция, временная структура и визуальные образы остаются на втором плане. Между тем, именно эти элементы и формируют смысл произведения не в меньшей степени, чем событийный ряд [1].

Пространство в картине с самого начала выстроено по вертикальной оси «низ-верх». Пол, кровати, потолок и само звездное небо за окном образуют не просто фон, а задают некую ось, в которую включены главные герои. Эта ось изначально не является по своей сути нейтральной: она задает иерархию пространства, в которой «верх» связан с бытийной мечтой и достижим лишь частично, тогда как «низ» обозначает область повседневного и ограниченного существования.

Основным визуальным жестом картины становятся прыжки на кровати. В начальных сценах герои прыгают на кроватях, имитируя невесомость. Прыжок выступает одновременно как игровое предвосхищение реального полета, как физическое выражение устремленности вверх и как первое столкновение с пределами существования, в которых главные герои замкнуты. Во время одного из прыжков один из героев ударяется телом о потолок, оставляя на нем трещину. И поскольку предел существования героев оказывается ограничен, на следующее утро трещину заделывают.

Ключевая трансформация происходит в финале картины. После гибели друга и последовавшего отказа второго героя от существования в земном пространстве прослеживается принципиально иной образ: сквозная дыра в форме человеческого тела. Теперь в центре оказывается не совместное движение к мечте, как изначально мог подумать зритель, а образовавшийся раскол между оставшимся героем и окружающим его земным миром. Важнейшим визуальным образом этого этапа становится скафандр, в который выживший герой прячется. Именно отказ в снятии скафандра показывает один из самых сильных визуальных образов в фильме: когда попытки извлечь героя оказываются безуспешными, на него, поверх скафандра, надевают смирительную рубашку. Однако бинарность этих двух символических вещей не сводится лишь к некоему визуальному образу, это столкновение

двух взаимоисключающих способов определить, что есть человек. Сотрудники космической станции, сама система, видят нечто девиантное, тогда как герой видит в скафандре единственную форму, в которой его связь с другом и общей мечтой остается реальной. Конфликт получает физическое воплощение, одновременно становясь этической апорией.

Развязка смещает фильм за рамки бытового реализма. Ночью раздается грохот, сотрудники космического центра обнаруживают пустой скафандр с полароидным снимком внутри, на котором изображены главные герои в день полета. В потолке сквозная дыра в форме тела, а сам главный герой исчезает. Образ, начавшийся с трещины в потолке, завершается переходом из одного метафизического состояния в другое: выходом в космос и преодолением изначально установленных рамок.

Временная линия картины заслуживает отдельного рассмотрения. Внешне повествование строится линейно, однако присутствует элемент повтора. Повторяются одни и те же жесты (прыжки на кроватях, тренировки), синхронные положения тел и действия. В результате прослеживается некая двойственная структура: с одной стороны – это направленное движение к кульминационному событию – полет в космос, с другой – хождение главных героев по кругу, из которого возможен выход только через преодоление земных границ. Сопоставление с работами Юрия Норштейна позволяет увидеть некую преемственность и при этом расхождение [2]. Бронзит наследует норштейновский минимализм, работу с повтором кадров и тишиной, однако меняет саму логику выхода главного героя. В «Ежике в тумане» герой, пройдя через дезориентацию и страх, в итоге возвращается в исходное пространство, здесь выходом является прояснение и восстановление нарушенного порядка, в то время как у Бронзита главный герой не может вернуться в исходное пространство. Новый сосед по комнате, смена постельного белья и вычеркнутый из списков космонавтов номер погибшего друга – попытка систематично нормировать ранее нарушенный порядок в пространстве, но герой это нормирование отвергает. Если Норштейн удерживает персонажа внутри мира, то Бронзит дает герою возможность выхода из циклического круга. Однако этот выход не тождественен возвращению к некой гармонии. Социальное пространство пытается нормировать утрату, но именно эта попытка и делает существование в нем для героя невыносимым, вынося героя в частную онтологическую историю.

Особое внимание, в данном контексте, стоит уделить звуковому сопровождению короткометражной анимации. «Время, вперед!» Георгия Свиридова прочно связывает картину с отечественной культурой, темой космической гонки и технологического прорыва как такового [3]. Это вводит в картину советский культурный код: энтузиазм, веру в прогресс. Однако в структуре картины встраивается логика, отличная от научно-технического оптимизма – логика советского космизма. Идеи Н. Ф. Федорова о преодолении смерти через объединение человечества и представления К. Э. Циолковского о выходе в космос как этапе эволюции обнаруживают в фильме не буквальное, но структурное соответствие [4, 5]. Отказ героя принять смерть друга как окончательную, его настойчивое стремление к преодолению земного, могут прочитываться как художественная реализация космистской философии: космос оказывается пространством не только физического, но и метафизического перехода, где граница между живыми и мертвыми преодолевается. Однако фильм не утверждает космистскую идею как однозначный ответ. Скорее, он воспроизводит саму структуру через индивидуалистический поступок, что становится способом восстановить разрушенную общность. Тем самым ставится под вопрос сама возможность этики, основанной исключительно на норме и адаптации.

Название картины «Мы не можем жить без космоса» само по себе отсылает зрителя к советскому культурному коду, в котором местоимение «мы» может предстать в виде общности, коллективного субъекта, единого народа, устремленного в будущее. В контексте космической гонки это «мы» звучит как формулировка принадлежности к общему делу. Бронзит начинает с этого коллективного «мы», но после гибели одного из героев разрушает его, делает его невозстановимым. В финале главные герои существуют уже не в социальном, а в космическом пространстве, за пределами любой идеологии.

Однако фильм не утверждает эту идею как некую доктрину, он удерживает ее как одну из возможных интерпретаций, существующей наравне с другими. Принципиальная неразрешимость финала, умер ли герой, выводит произведение в мифологический сюжет. Миф, в свою очередь, фиксирует событие во всей его противоречивой полноте, не требуя выбора между рациональным объяснением и сверхъестественным. Константин Бронзит встраивает ту же логическую цепочку, удерживая все визуальные и художественные образы и создает не произведение с идеально ясной моралью, а

воспроизводит саму ситуацию мифологического события – неразрешимого и от того не теряющего своей истинности.

Список используемых источников

1. Лотман Ю. М. Семиотика кино и проблемы киноэстетики. Таллин: Ээсти раамат, 1973. 135 с.
2. Норштейн Ю. Б. Снег на траве. Кн. 1. М.: Красный пароход, 2008. 367 с.
3. Свиридов Г. В. Музыка как судьба. М.: Молодая гвардия, 2002.
4. Федоров Н. Ф. Сочинения. М.: Мысль, 1982. 711 с.
5. Циолковский К. Э. Космическая философия. М.: Сфера, 2001. 496 с.

УДК 316.323

ШКОЛЬНОЕ ПИТАНИЕ КАК ПОЛЕ БОРЬБЫ ЗА НОВУЮ ФРАНЦУЗСКУЮ ИДЕНТИЧНОСТЬ

Ю. Г. Терентьева (студент группы ЗР-21, СПбГУТ), terenteva.ug@sut.ru

В статье анализируется конфликт между принципом лаицизма (laïcité) и мультикультурными практиками на примере организации школьного питания во Франции. На основе примера города Шато-Тьерри (2021 г.), где мэр запретил любую замену свинины в школьных столовых, рассматривается, как локальные решения в сфере продовольственной политики становятся индикатором кризиса республиканской модели интеграции. Делается вывод, что борьба за меню превращается в символическую борьбу за определение «французской идентичности».

лаицизм, Франция, мультикультурализм, школьные столовые, идентичность.

SCHOOL MEALS AS A BATTLEGROUND FOR A NEW FRENCH IDENTITY

Terenteva Y.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines the conflict between the principle of laïcité and multicultural practices through the lens of school catering in France. Based on the case of Château-Thierry (2021), where the mayor banned any pork-free alternatives in school canteens, the author analyses how local food policy decisions reflect the crisis of the republican integration model. The author concludes that the struggle over menus has become a symbolic struggle over the definition of “French identity”.

Keywords: laïcité, France, multiculturalism, school canteens, identity

Во Франции школьная столовая давно перестала быть просто местом приема пищи. В республиканской традиции она рассматривается как институт социализации, где дети с разным происхождением учатся быть французами – в том числе через общий стол. Принцип лаицизма (laïcité), закрепленный в законе 1905 г. [1] и Конституции [2], требует нейтральности публичных служб. Однако в последние два десятилетия этот принцип вступает в противоречие с культурным и религиозным разнообразием французского общества, особенно в области школьного питания.

Особую остроту дискуссия приобрела в 2020–2021 гг., когда сразу несколько муниципалитетов приняли решения, затрагивающие меню школьных столовых. Наиболее показательным стал конфликт в городе

Шато-Тьерри (департамент Эна, регион О-де-Франс), где правый мэр Себастьян Эжен ввел запрет на любые «адаптированные» блюда, заменяющие свинину [3]. Это решение вызвало общенациональный резонанс и привело к судебному разбирательству.

Французское законодательство не содержит единого закона о школьных столовых. Организация питания – компетенция муниципалитетов, которые обязаны соблюдать принцип нейтральности публичной службы. В 2015 году Государственный совет (Conseil d'État) подтвердил, что муниципалитеты могут предлагать альтернативные блюда для детей, которые по религиозным или культурным причинам не едят свинину, но не обязаны этого делать [4]. Главное – не допускать дискриминации и обеспечивать одинаковый доступ к питанию.

Однако на практике это породило раскол. Левые и экологически ориентированные мэрии (например, в Лионе, Гренобле) стали вводить вегетарианские варианты или опции без свинины, мотивируя это как уважением к разнообразию, так и соображениями здоровья и экологии. Правые и центристские муниципалитеты, напротив, рассматривали любые «особые меню» как нарушение принципа единой и неделимой республики, где все граждане равны перед законом и не должны получать привилегий на основе религии.

Именно в этом идеологическом разломе и возник кейс Шато-Тьерри. Город Шато-Тьерри с населением около 15 000 человек расположен в 90 км к северо-востоку от Парижа. Мэр – Себастьян Эжен (партия «Республиканцы», позже перешел в «Отвоевание» Эрика Земмура). В сентябре 2021 года он издал распоряжение, согласно которому в школьных столовых города отменяются любые «замены» в меню. Все дети получают одинаковое блюдо, которое включает свинину несколько раз в неделю. Родители, желающие исключить свинину по религиозным соображениям, могут кормить ребенка дома или забирать его на обед [5].

Мэр аргументировал свое решение принципом лаицизма: «В республиканской школе нет места общинной логике. Если мы начнем делать исключения для одних, то должны будем делать их для всех, а это противоречит равенству». Особое возмущение Эжена вызвала практика, при которой ранее в столовой предлагали йогурт или сыр вместо свиного блюда – он назвал это «унизительной подачкой» и «исламо-левацким коммунитаризмом».

Реакция не заставила себя ждать. Местное отделение Лиги прав человека (LDH) и Ассоциация против исламофобии (CCIF) подали жалобу в административный суд Амьена, обвинив мэра в дискриминации по религиозному признаку. Они указали, что запрет на альтернативы фактически лишает мусульманских и иудейских детей возможности питаться в школе наравне с остальными [3].

В ноябре 2021 года Административный суд Амьена вынес решение, которое стало важным прецедентом. Суд постановил, что мэр не может запрещать альтернативные блюда, если они не нарушают санитарные нормы и не увеличивают расходы муниципалитета [6].

Принцип лаицизма требует нейтральности публичной службы, но не навязывания всем одинакового рациона, включающего продукты, запрещенные некоторыми религиями. Запрет на замену свинины создает косвенную дискриминацию, так как непропорционально затрагивает мусульман и иудеев.

Суд отменил распоряжение мэра и обязал муниципалитет восстановить возможность получать альтернативное блюдо (без свинины) по запросу родителей. При этом суд подчеркнул, что муниципалитет не обязан вводить полностью отдельные меню или специальные «халяльные» блюда – достаточно предоставить нейтральную замену, например, рыбу, яйца или вегетарианский вариант.

Мэр Эжен заявил, что будет обжаловать решение, однако вышестоящие инстанции (Апелляционный суд Дуэ) в 2022 году подтвердили позицию суда Амьена [7]. На сегодняшний день в Шато-Тьерри школьные столовые предлагают альтернативу без свинины, хотя сама полемика не утихла.

В феврале 2021 года мэр-эколог Грегори Дусе ввел во всех школьных столовых Лиона единое меню без мяса (но с рыбой и яйцами) – временно, из-за санитарных ограничений, связанных с COVID-19. Это решение вызвало яростную критику справа: министр внутренних дел Жеральд Дарманен обвинил мэра в «презрении к французской кулинарной культуре» и «идеологическом эксперименте над детьми» [8].

Но важно отметить, что в Лионе единое меню вводилось для всех детей, а не для отдельных групп. С точки зрения права, это не было дискриминацией. Однако критики усмотрели в этом попытку навязать «зеленую» (вегетарианскую) идентичность вопреки традиционному питанию.

Итогом этого конфликта стало решение суда от 24 марта 2023 года. Административный суд Лиона отменил решение мэра о временном запрете

на подачу мясных блюд в школьных столовых в период с 22 февраля по 2 апреля 2021 года. В своем вердикте суд подчеркнул, что, независимо от любых обстоятельств, отступление от правил, требующих определенной частоты подачи мясных основных блюд в школьных столовых, недопустимо. Суд также отметил, что чрезвычайное положение в связи с пандемией не создавало никаких исключений из этих обязательств, а организационные трудности не могут служить оправданием для подобных мер [9, 10].

Оба примера – Шато-Тьерри и Лион – показывают, что школьное питание превратилось в символическую арену борьбы за определение французской идентичности.

Во-первых, традиционная республиканская модель, основанная на «слепом» равенстве, сталкивается с реальностью культурного плюрализма. Когда мэр Шато-Тьерри требует, чтобы все ели свинину, он апеллирует к единой нации, но на деле исключает из школьного пространства детей, чьи религиозные нормы это запрещают. Суд встал на сторону плюрализма, но не мультикультурализма как такового, а скорее «нейтральной альтернативы» – компромисса, при котором никто не обязан есть то, что ему запрещено, но и специальных «религиозных» меню не создается.

Во-вторых, споры о меню обнажают раскол между левой и правой интерпретациями лаицизма. Для левых (и зеленых) это гарантия свободы совести, включая право не есть свинину, при условии, что это не навязывается другим. Для правых – это требование полной унификации публичного пространства, где любые религиозные маркеры (включая диетические) должны оставаться за порогом школы.

В-третьих, оба кейса демонстрируют, что поиск новой национальной идентичности во Франции идет не столько через парламентские дебаты, сколько через локальные конфликты – в столовых, бассейнах, на спортивных площадках.

Таким образом, если кейс Шато-Тьерри иллюстрирует конфликт между светскостью и мультикультурализмом, то решение суда по лионскому кейсу продемонстрировало, что любые меню, даже вводимые «вне идеологии», подлежат строгому правовому контролю. Этот случай показал, что французское правовое поле, как правило, поддерживает сбалансированный подход, основанный на нормативных актах, нежели на политических заявлениях, и оставляет пространство для диалога между универсалистским принципом равенства и практикой учета культурных различий.

Список используемых источников

1. Loi du 9 décembre 1905 concernant la séparation des Églises et de l'État // Journal officiel de la République française. 1905. 11 декабря (№ 336). URL: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000508749> (дата обращения: 11.04.2026).
2. Constitution de la République française du 4 octobre 1958 // Conseil constitutionnel. URL: <https://www.conseil-constitutionnel.fr/le-bloc-de-constitutionnalite/texte-integral-de-la-constitution-du-4-octobre-1958-en-vigueur> (дата обращения: 11.04.2026).
3. Laïcité à la cantine: le tribunal administratif d'Amiens désavoue le maire de Château-Thierry // Libération. 20.11.2021.
4. Conseil d'État (Франция). Avis du 11 декабря 2020, n° 426483: Sur la légalité des menus de substitution dans les cantines scolaires au regard du principe de la laïcité // Conseil d'État. 2020. URL: <https://www.conseil-etat.fr/actualites/les-menus-de-substitution-dans-les-cantines-scolaires-qui-ne-sont-qu-une-simple-faculte-pour-les-collectivites-territoriales-ne-sont-pas-contraindre> (дата обращения: 11.04.2026).
5. Le Monde. À Château-Thierry, le maire supprime les repas de substitution sans porc dans les cantines // Le Monde. 2021. 15 сентября.
6. Tribunal administratif d'Amiens (Франция). Jugement n° 2103124 du 19 ноября 2021: Sur l'annulation de l'arrêté du maire de Château-Thierry supprimant les menus de substitution sans porc // Tribunal administratif d'Amiens. 2021. (дата обращения: 11.04.2026).
7. Cour administrative d'appel de Douai (Франция). Arrêt n° 21DA02567 du 14 апреля 2022: Confirmation de l'annulation de l'arrêté du maire de Château-Thierry [Электронный ресурс] // Cour administrative d'appel de Douai. 2022. (дата обращения: 11.04.2026).
8. Le Progrès. Lyon. Menus sans viande à la cantine pendant le Covid: la justice donne tort à Grégory Doucet // Le Progrès. 24.03.2023. URL: <https://www.leprogres.fr/faits-divers-justice/2023/03/24/ou-l-on-reparle-des-menus-sans-viande-a-la-cantine-pendant-le-covid-la-justice-donne-tort-a-gregory-doucet> (дата обращения: 11.04.2026).
9. Charte de la laïcité à l'École // Ministère de l'Éducation nationale. 2013. URL: <https://www.education.gouv.fr/sites/default/files/document/charte-de-la-la-cit-a4-266199.pdf> (дата обращения: 11.04.2026).
10. Tribunal administratif de Lyon (Франция). Jugement 23.03.2023. Annulation de la décision du maire de Lyon de ne pas proposer temporairement des plats à base de viande dans les restaurants scolaires (22 février – 2 avril 2021) // Tribunal administratif de Lyon. 2023. URL: <https://lyon.tribunal-administratif.fr/decisions-de-justice/dernieres-decisions/menu-unique-dans-les-cantines-scolaires-de-la-ville-de-lyon-au-cours-de-la-crise-sanitaire> (дата обращения: 11.04.2026).

Статья представлена научным руководителем, кандидатом географических наук, старшим преподавателем кафедры истории и регионоведения СПбГУТ К. В. Самбуровым.

УДК 339.148

ВОВЛЕЧЕННОСТЬ КЛИЕНТОВ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОГО МАРКЕТИНГА

А. С. Турбал (студент группы 414БА Институт бизнеса
Белорусского государственного университета), turbalanita706@gmail.com
Д. А. Флерко (студент группы 414БА Институт бизнеса
Белорусского государственного университета)

В условиях цифровизации интерактивные форматы взаимодействия с потребителем приходят на смену традиционным маркетинговым инструментам. На основе анализа сообществ ВКонтакте выявлены зависимости между показателями и уровнем вовлеченности, предложены рекомендации по оптимизации контент-стратегии.

вовлеченность клиентов, цифровой маркетинг, Engagement Rate, социальные сети, контент-маркетинг

CUSTOMER ENGAGEMENT AS AN EFFECTIVE DIGITAL MARKETING TOOL

Turbal A., Flerko D.
School of Business, Belarusian State University

In the context of digitalization, interactive formats of interaction with consumers are replacing traditional marketing tools. Based on the analysis of VKontakte communities, the relationships between indicators and the level of engagement have been identified, and recommendations for optimizing the content strategy have been proposed.

Key words: customer engagement, digital marketing, Engagement Rate, social networks, content marketing

Современный маркетинг переходит от односторонних коммуникаций к интерактивному взаимодействию бренда с потребителем. На первый план выходит понятие вовлеченности клиентов, объединяющее количественные и качественные характеристики взаимодействия пользователей с контентом. Несмотря на распространенность термина «вовлеченность» в цифровом маркетинге, системные исследования зависимости ее уровня от конкретных показателей остаются ограниченными. Цель – анализ факторов, влияющих на вовлеченность в университетских сообществах «ВКонтакте»

(тип контента, длина текста, день недели, время публикации). Гипотеза: вовлеченность зависит от этих факторов, визуальные форматы и короткие тексты эффективнее.

Вовлеченность клиентов (customer engagement) в цифровом маркетинге представляет собой комплексную характеристику, отражающую степень заинтересованности потребителя во взаимодействии с брендом и его готовность к активному участию в коммуникациях [1].

В цифровой среде вовлеченность измеряется с помощью системы метрик, а фиксирующих различные типы пользовательских реакций: лайки, комментарии, репосты, просмотры, сохранения. Наиболее распространенным интегральным показателем является Engagement Rate (ER). В практике используются два основных способа расчета [2]:

- ER по базе подписчиков – отношение суммарных реакций к общему числу подписчиков;
- ER по охвату (просмотрам) игры – отношение суммарных реакций к фактическому охвату публикации.

Второй способ точнее при оценке эффективности типов контента. Визуальный и интерактивный контент демонстрирует более высокий ER, чем текстовые и информационные посты [3].

Объект исследования – официальные сообщества в «ВКонтакте» тематики «университет». Отбор осуществлялся по критериям: открытый тип сообщества, наличие достаточного количества публикаций. В выборку вошли пять сообществ: Белорусский государственный университет (https://vk.com/bsu_by), Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка (<https://vk.com/bspuby>), Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций (<https://vk.com/sutru>), Казанский федеральный университет (https://vk.com/kazan_federal_university), Московский политехнический университет (<https://vk.com/moscowpolytech>). Период анализа – с 1 января по 1 марта 2026 года (8 недель). Данные собирались с помощью сервиса Lucmus. Фиксировались количество постов, просмотры, лайки, комментарии, репосты, тип контента и длина текста. Всего проанализирован 621 пост. Целевой показатель – ER view. Для обработки применялись описательная статистика, сравнительный анализ по сообществам и типам контента.

В таблице 1 представлены основные показатели вовлеченности для каждого из пяти исследованных сообществ.

ТАБЛИЦА. Показатели вовлеченности аудитории по сообществам (январь – февраль 2026 г.). Источник: составлено автором на основе данных сервиса Lucmus (<https://lucmus.com>)

Название сообщества	Посты	Просмотры	Лайки	Репосты	Комментарии	ER view, %
БГУ	166	98 062	1 034	45	30	1,131
БГПУ им. М. Танка	35	13 518	120	3	8	0,969
СПбГУТ	121	485 391	3 300	571	55	0,809
КФУ	186	1 429 420	8 768	1 142	71	0,697
Московский Политехнический университет	113	324 784	3 045	462	46	1,094
Всего / Среднее	621	2 351 175	16 267	2 223	210	0,94

Наибольший уровень вовлеченности зафиксирован у сообщества Белорусского государственного университета (1,131 %) при относительно невысоком количестве просмотров (98 тыс.). На втором месте – Московский политех (1,094 %). Наименьший показатель ER view у Казанского федерального университета (0,697 %), несмотря на наибольшее количество просмотров (1,43 млн) и постов (186). Это подтверждает, что вовлеченность аудитории не зависит напрямую от количества просмотров или публикаций.

Для выявления зависимости вовлеченности от формата публикации проанализированы типы прикреплений (текст, фото, видео, ссылки) и показатели вовлеченности. Поскольку агрегированные данные по реакциям в разрезе типов контента отсутствуют, расчет ER view выполнен на основе средних значений по сообществам с учетом доли каждого типа контента. Результаты представлены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Показатели вовлеченности по типам контента

Тип контента	Общее количество постов	Доля от всех постов, %	Средний ER view, %
Фото	534	44,0	1,12
Текст	608	50,1	0,89
Видео	86	7,1	1,05
Ссылки	240	19,8	0,62

Как показывают данные таблицы 2, наиболее высокий уровень вовлеченности обеспечивают посты с фото (1,12 %) и видео (1,05 %). Текстовые публикации без визуального сопровождения демонстрируют более низкую вовлеченность (0,89 %). Наименьший показатель ER view отмечен у постов, содержащих только ссылки на внешние ресурсы (0,62 %), что согласуется с результатами исследования Миназевой и Арабова, выявившими негативное влияние внешних ссылок на вовлеченность аудитории [3]. Важно отметить, что наиболее эффективным форматом являются посты, сочетающие визуальный контент (фото или видео) с коротким текстовым сопровождением. Такие публикации, как правило, получают большее количество реакций при сохранении высокого охвата.

Для оценки влияния объема текстового сопровождения на вовлеченность проанализировано распределение публикаций по длине текста в каждом сообществе. На основе суммарных показателей просмотров и реакций для каждой категории длины текста рассчитан ER view. Результаты представлены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3. Показатели вовлеченности по длине текста

Длина текста	Общее количество постов	Доля от всех постов, %	Средний ER view, %
Короткий (до 160 символов)	131	21,1	1,04
Средний (160–1000 символов)	449	72,3	0,92
Длинный (более 1000 символов)	41	6,6	0,85

Короткие тексты (до 160 символов) демонстрируют наиболее высокую вовлеченность (1,04 %), средние (160–1000 символов) – 0,92 %, длинные (более 1000 символов) – наименьшую (0,85 %), что связано со снижением концентрации внимания аудитории. Однако в категории коротких текстов преобладают посты с визуальным контентом (фото или видео) с минимальной подписью. Таким образом, высокая вовлеченность коротких текстов объясняется не столько их длиной, сколько сопутствующими визуальными элементами.

Дополнительный анализ выявил зависимость вовлеченности от дня недели и времени публикации. Наиболее высокий ER view – в воскресенье

(1,21 %) и субботу (1,08 %), что связано с большей свободой времени у студентов в выходные. Наименьшие показатели – в понедельник (0,82 %) и вторник (0,85 %). По времени суток пики вовлеченности приходятся на утренние часы (9:00–11:00) и вечерние (19:00–21:00), где ER view на 25–30 % выше, чем в дневные и ночные часы, что соответствует пикам активности студенческой аудитории [4].

Проведенное исследование позволило подтвердить выдвинутую гипотезу о зависимости уровня вовлеченности аудитории от ряда факторов. На основе анализа было установлено, что наибольшую вовлеченность обеспечивают фото (1,12 %) и видео (1,05 %), короткие тексты (до 160 символов), а также публикации в выходные дни и в утренние (9:00–11:00) и вечерние (19:00–21:00) часы.

Результаты исследования могут быть использованы администраторами сообществ и SMM-специалистами для оптимизации контент-стратегии. Таким образом, для повышения вовлеченности рекомендуется использовать визуальный контент с коротким текстовым сопровождением и планировать публикации на наиболее активные временные интервалы.

Список используемых источников

1. Окольнішнікова І. Ю. К вопросу о методике оценки эффективности брендинга и расчета уровня вовлеченности покупателей в бренд. С. 1–14.
2. Телевой А. Д., Хлопотов М. В. Исследование тематических профилей и способов расчета вовлеченности аудитории в сообщества социальной сети «ВКонтакте» // Вестник Евразийской науки. 2018. № 2. Т. 10. С. 1–9.
3. Миназева Д. Р., Арабов М. К. Факторы вовлеченности аудитории в социальной сети «ВКонтакте»: гибридный анализ на стыке эконометрики и машинного обучения // Вестник науки. 2026. № 2 (95). Т. 4. С. 445–459.
4. Градюшко А. А. Производство и распространение контента на цифровых платформах: оценка вовлеченности аудитории // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2022. № 2 (261). С. 43–49.

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры маркетинга Института Бизнеса БГУ, кандидатом педагогических наук М. В. Лесниченко-Роговской.

УДК 004.89

СТИХИ БЕЗ ДУШИ? ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И КРИЗИС АВТОРСКОГО ПРИСУТСТВИЯ

О. А. Ухалов (студент группы ЗР-21, СПбГУТ), uhalov.oa@sut.ru

В статье анализируется способность чат-ботов на основе искусственного интеллекта генерировать поэтические тексты и связанный с этим кризис авторского присутствия. На примере воспроизведения стиля Осипа Мандельштама демонстрируется, что ИИ успешно копирует формальную структуру, но его тексты лишены исторического контекста и личного переживания – в отличие от оригинальных строк поэта, отсылающих к сталинским репрессиям и экзистенциальной боли поколения. Делается вывод, что нейросети выступают лишь инструментом расширения творческих возможностей, но не заменяют живого автора как носителя эмоциональной связи с читателем.

искусственный интеллект, поэзия, авторское присутствие, генерация текста, кризис авторства, нейросети

POEMS WITHOUT A SOUL? ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE CRISIS OF AUTHORIAL PRESENCE

Seliverstov V., Ukhalov O.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article analyzes the ability of artificial intelligence-based chatbots to generate poetic texts and the resulting crisis of authorial presence. Using the imitation of Osip Mandelstam's style as an example, it is demonstrated that while AI successfully replicates formal structures, its texts lack historical context and personal experience—unlike the poet's original verses, which resonate with the Stalinist repressions and the existential anguish of his generation. The study concludes that neural networks serve merely as a tool for expanding creative potential; they cannot replace the living author, who acts as the conduit for an emotional connection with the reader.

Key words: artificial intelligence, poetry, authorial presence, text generation, crisis of authorship, neural networks

Актуальность темы: рост применения чат-ботов (с использованием искусственного интеллекта) в творческих сферах (музыка, живопись, литература). Что останется от искусства, если исчезнет автор? Если алгоритмы научатся имитировать стиль любого поэта, а библиотеки оцифруют все существующие тексты, сохранится ли ценность человеческого творчества?

Или мы превратим культуру в «цифровой архив», где живой голос автора растворен в бесконечных вариациях нейросетей?

Эти вопросы не абстрактны. Чат-боты уже пишут стихи [1], музыку и картины, а нейросети воссоздают голоса умерших артистов [2]. Если чат-боты (с использованием ИИ) генерируют тексты без боли, страха или любви, не превращаем ли мы искусство в симулякр – красивую, но пустую оболочку?

Цель исследования: анализ возможностей чат ботов (с использованием ИИ) в поэзии, определение роли человека как соавтора или редактора.

Гипотеза: чат-боты (с использованием ИИ) – инструмент, расширяющий творческий потенциал, но не заменяющий человеческую креативность.

К 2025 году чат-боты, основанные на технологиях искусственного интеллекта (ИИ), стали неотъемлемой частью цифровой реальности. Они помогают в обслуживании клиентов, обучении, а теперь все чаще – в творческих процессах. Однако их роль в создании искусства, особенно в такой тонкой сфере, как поэзия, вызывает вопросы: способны ли алгоритмы генерировать тексты, сопоставимые с работами классиков, или их удел – лишь техническое подражание? Чат-боты – это программы, использующие алгоритмы ИИ для анализа данных и генерации текста. В отличие от общего ИИ, который может решать широкий спектр задач, чат-боты специализируются на диалоге и текстовой имитации. В работе будет использован чат-бот от DeepSeek – модель бота DeepSeek R1 специализируется на анализе в реальном времени.

В рамках исследования возможностей применения ИИ в области литературного творчества был проведен эксперимент по воспроизведению поэтического стиля Осипа Мандельштама. Основой для работы послужил составленный файл из 30 стихотворений автора, включая тексты, отражающие ключевые исторические и культурные контексты его эпохи. После файл со стихами был проанализирован для выявления структурных и стилистических закономерностей.

Анализ выявил доминирование дольника – метрической схемы с варьирующимся количеством ударений, а также использование перекрестной рифмовки. Лексический анализ подтвердил частотное употребление архаичной лексики и стилистических приемов, таких как оксюмороны. На основе этих данных был сгенерирован текст, формально соответствующий выявленным паттернам.

Сравнение с оригинальными произведениями Мандельштама продемонстрировало, что искусственный интеллект успешно воспроизводит внешние признаки стиля – ритмическую структуру, архаизмы, метафорические конструкции. Однако содержательный анализ выявил принципиальные расхождения. Например, строка Мандельштама «Я – непризнанный брат, отщепенец в народной семье» отсылает нас во времена сталинских репрессий, когда, живя в большой стране, ты остаешься один на один со своей проблемой и мало кто хочет помогать тебе чувствовать боль автора, так как он сам через это прошел. В то же время у строки, написанной ИИ, «Я – неприкаянный звук, брошенный в свод», текст лишен исторического подтекста и сводится к абстрактному образу, что лишает нас эмоциональной связи как читателя и писателя, ведь мы не понимаем сути боли в этой строчке. Также мы можем отследить сравнение и противопоставление в четверостишие Мандельштама.

«Лишь бы только любили меня эти мерзлые плахи –
Как прицелясь на смерть городки зашибают в саду, –
Я за это всю жизнь прохожу хоть в железной рубахе
И для казни петровской в лесах топорище найду». [3]

Первая и третья строчки связаны сюжетно и смыслом, как и вторая и четвертая. Первая строка показывает нам надежду на любовь к себе как к автору и человеку. Третья строка демонстрирует, что за свою надежду на эту любовь он готов жертвовать и быть в железной рубахе. Вторая и четвертая строки показывают нам, что безобидная игра в городке в безмятежном саду перерастает в охоту на человека, что может демонстрировать, как хорошо было во времена Мандельштама, но при этом происходили репрессии. Четвертая строка отсылает нас – как ко времени Петра и казни после Стрелецкого бунта, так и ко временам Мандельштама, когда начались систематические аресты, ссылки, философские пароходы. В этих строках мы видим не только личную боль автора и его самоотверженность, но и боль поколения тех времен. А что написал ИИ?

«Сохрани, как страницу с черной отметкой,
Эту боль, что в груди застыла, как лед.
Не страна, не эпоха – лишь ветра зов,
Да луч, что пробил ночную темень влет».

По рифме подходит, но при этом у нас, как у читателей стиха, не будет эмоциональной привязанности к этому четверостишию, как у Мандельштама, так как мы не можем понять человеческий контекст данных строк.

Проведенный эксперимент подтвердил гипотезу: чат-боты на основе ИИ способны к точной формальной имитации поэтического стиля – ритмики, лексики, метафор. Однако сгенерированные тексты лишены исторического контекста и личного переживания, в отличие от оригинальных строк Мандельштама, укорененных в его биографии и эпохе сталинских репрессий. Следовательно, нейросеть выступает как инструмент расширения творческих возможностей, но не заменяет живого автора, который остается носителем боли, страха и любви. Пока эти качества остаются исключительно человеческими, искусство не превращается в симулякр, а автор – в редактора или соавтора по отношению к алгоритму. Культура сохранит ценность человеческого творчества, если сам человек не делегирует нейросети право переживать.

Список использованных источников

1. Меньшова П. Люди спутали ИИ-поэзию со стихами классиков и оценили ее выше // Naked Science. 2024. 04.11. URL: <https://naked-science.ru/article/psy/sputali-ii-s-klassikami> (дата обращения: 01.04.2026).
2. Талтынов М. Искусственный интеллект научится «воскрешать» умерших // Ведомости. 2023. 12.10. URL: https://www.vedomosti.ru/technologies/new_technologies/articles/2023/10/12/1000160-iskusstvennii-intellekt-nauchitsya (дата обращения: 01.04.2026).
3. Мандельштам О. Э. Сохрани мою речь навсегда...: стихотворения, проза: сборник. М.: Издательство «Э», 2016. 94 с.

Статья представлена научным руководителем кандидатом философских наук, доцентом кафедры СПН СПбГУТ В. Л. Селиверстовым.

УДК 339.9

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОНОМИКИ ГОНКОНГА: ОТ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ХАБА К ЛИДЕРУ ГЛОБАЛЬНОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

С. С. Шепурева (студент группы ЗР-32, СПбГУТ), shepureva.ss@sut.ru

В статье рассматривается трансформация экономики Гонконга от модели колониального порта и транзитного узла к постиндустриальной системе, основанной на доминировании сферы услуг, высокой инвестиционной открытости, институциональной эффективности и вовлеченности в глобальные финансовые и корпоративные потоки. Выделяются исторические предпосылки формирования хозяйственной модели Гонконга. Анализируются основные направления структурного сдвига: снижение роли промышленности, усиление сервисной специализации, рост инвестиционной и транснациональной составляющей, а также повышение значения цифровых форм экономического взаимодействия. Делается вывод о том, что современная конкурентоспособность Гонконга обеспечивается не столько классической портовой функцией, сколько качеством деловой среды и способностью обслуживать глобальные потоки капитала, услуг, данных и управленческих решений.

Гонконг, трансформация экономики, сфера услуг, инвестиции, глобальная конкурентоспособность, цифровая экономика

THE TRANSFORMATION OF HONG KONG'S ECONOMY: FROM A LOGISTICS HUB TO A GLOBAL COMPETITIVENESS LEADER

Shepureva S.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines the transformation of Hong Kong's economy from a colonial port and transit hub into a post-industrial system based on the dominance of services, high investment openness, institutional efficiency, and integration into global financial and corporate flows. The historical prerequisites for the formation of Hong Kong's economic model are being highlighted. The main directions of structural change are analyzing: the declining role of industry, the strengthening of service specialization, the growth of investment and transnational business, and the increasing importance of digital forms of economic interaction. It is concluded that Hong Kong's contemporary competitiveness is shaped less by its classical port function than by the quality of its business environment and its ability to service global flows of capital, services, data, and managerial decisions.

Key words: Hong Kong, economic transformation, services sector, financial centre, investment, global competitiveness, digital economy

Трансформация экономики Гонконга представляет собой показательную модель перехода от транзитно-посреднической системы к постинду-

стриальной экономике глобального уровня. Изначально территория развивалась как колониальный порт, выполняющий функции перевалочного узла в международной торговле, однако со временем данная модель эволюционировала в сложную систему, основанную на институциональной эффективности, сервисной специализации и интеграции в мировые финансовые и корпоративные потоки [1, 2].

Формирование экономической модели Гонконга было связано с его статусом свободного порта, минимизацией торговых барьеров, ограниченным государственным вмешательством и использованием англосаксонской правовой системы. Эти факторы обеспечили высокую предсказуемость деловой среды, низкие транзакционные издержки и привлечение международного капитала. Уже на раннем этапе сформировалась экономическая логика, ориентированная не на развитие масштабного промышленного производства, а на обслуживание внешнеэкономических операций [3].

В дальнейшем данная модель продемонстрировала высокую адаптивность. Переход к постиндустриальной структуре сопровождался снижением роли промышленного сектора и усилением значения третичного сектора (рис. 1). Сфера услуг стала доминирующей и включила в себя финансовые, логистические, страховые, консалтинговые и управленческие функции, обеспечивающие международное движение капитала и информации [4-6].

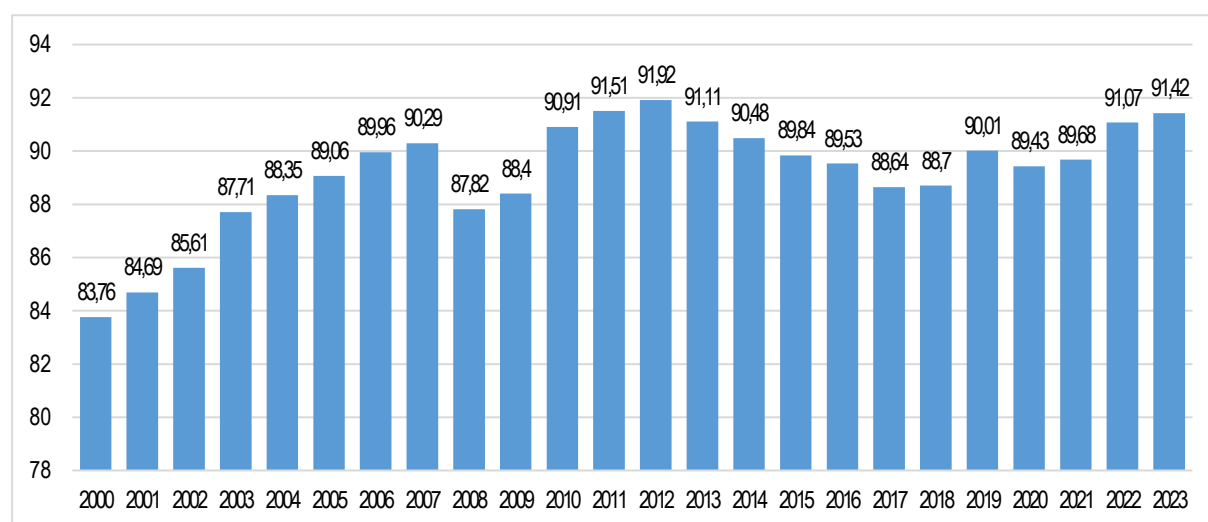


Рис. 1. Доля сферы услуг в ВВП Гонконга за период 2000-2023 гг.

Анализ динамики показывает устойчивый рост доли услуг в структуре валового внутреннего продукта, что свидетельствует о закреплении сервисной специализации. Таким образом, экономика Гонконга постепенно трансформировалась из логистического хаба в международный финансово-сервисный центр [5].

Существенным элементом современной модели является высокая степень внешнеэкономической открытости. Экономическая устойчивость территории обеспечивается активным участием в международном движении капитала, а также способностью выступать самостоятельным центром его перераспределения [7]. При этом развитие региона происходит с учетом положения специальных административных районов Китая, что отражает особенности взаимодействия с материковой экономикой, включая перераспределение ресурсов и влияние центра на динамику экономического роста [8]. Инвестиционная привлекательность Гонконга основана не на ресурсной базе или масштабах внутреннего рынка, а на институциональных преимуществах – стабильности, прозрачности и эффективности деловой среды [9, 10]. Это подтверждается как результатами макроэкономического анализа, фиксирующего устойчивость ключевых показателей (ВВП на душу населения, приток прямых иностранных инвестиций, участие в международном движении капитала), так и оценками деловой среды в рамках методологии Business Ready [11], отражающей высокий уровень качества регулирования и институциональной эффективности.

Дополнительным фактором выступает транснационализация бизнеса. Присутствие крупных международных корпораций интегрирует экономику региона в глобальные сети управления и финансовых потоков [12, 13]. Это позволяет рассматривать Гонконг как узел глобального корпоративного взаимодействия.

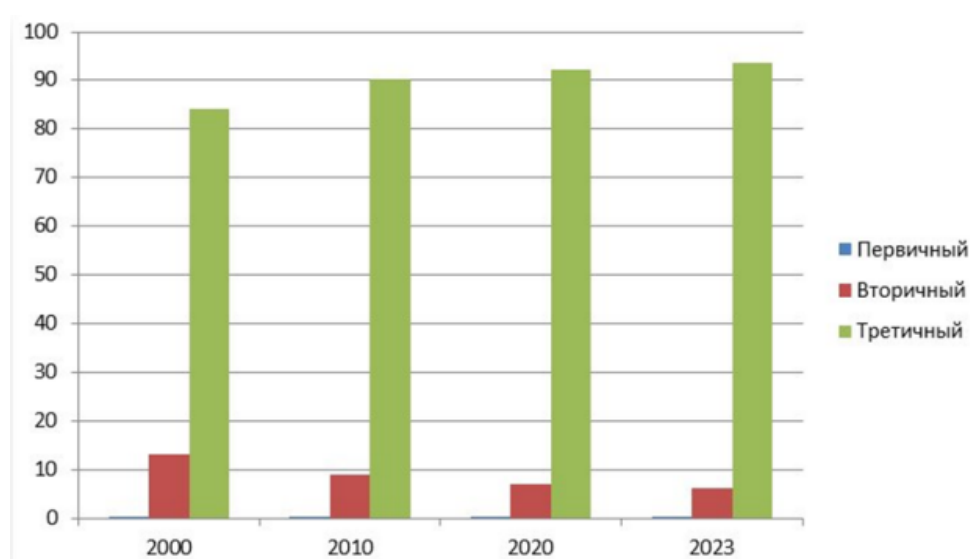


Рис. 2. Изменение структуры экономики Гонконга с указанием доли каждого сектора за период 2000-2023 гг., в %

Данные структурного анализа подтверждают постиндустриальный характер экономики (рис. 2): доля третичного сектора достигает доминирующих значений, тогда как промышленность постепенно утрачивает прежнее значение. В этих условиях источником конкурентоспособности становятся не материальные ресурсы, а институциональная среда и способность обслуживать сложные формы международного взаимодействия.

Современная конкурентоспособность Гонконга определяется сочетанием нескольких факторов: развитой институциональной среды, сервисной специализации, инвестиционной открытости, высокой степени транснационализации и адаптации к цифровой экономике. Особую роль играет нормативно-правовая система, обеспечивающая высокий уровень доверия со стороны международного бизнеса.

В условиях цифровизации усиливается значение нематериальных факторов – данных, финансовых технологий и цифровых платформ. Экономическая функция территории выходит за пределы традиционного посредничества и включает организацию сложных потоков информации и капитала. Таким образом, трансформация экономики Гонконга представляет собой последовательный переход от портовой специализации к модели глобальной конкурентоспособности. Данный опыт демонстрирует, что даже территория с ограниченной ресурсной базой может занять устойчивые позиции в мировой экономике за счет институциональной эффективности, сервисной ориентации и интеграции в глобальные процессы.

Список используемых источников

1. Коваленко В. Н. Гонконг и Шанхай: конкуренция за место главного финансового центра в КНР и одного из основных в мире // Проблемы современной экономики. 2010. № 3. С. 280-284.
2. Михайлова Ю. А. Мировой финансовый кризис и развитие Гонконга // Ученые записки Санкт-Петербургского университета управления и экономики. 2011. № 3. С. 5-11.
3. Файншмидт Р. И., Федоренко Д. О. Трансформация роли Гонконга в контексте экономических процессов Азиатско-Тихоокеанского региона // Локус: люди, общество, культуры, смыслы. 2020. Т. 11. № 3. С. 133-150.
4. Горошникова Т. А. Оценка долгосрочности трендов инвестиционной привлекательности в Юго-Восточной Азии // Мировая экономика и мировые финансы. 2024. Т. 3. № 5. С. 14-20.
5. Hong Kong Census and Statistics Department. Statistical Digest of the Services Sector. 2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.censtatd.gov.hk> (дата обращения: 07.04.2026).
6. The World Bank. World Development Indicators: Hong Kong SAR, China. 2024-2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://data.worldbank.org/country/hong-kong-sar-china> (дата обращения: 07.04.2026).

7. Романова Е. А. Цифровая экономика: опыт развития в Китае // Контентус. 2021. № 2(103). С. 39-47.
8. Ююкина Т. И. Место и роль Китая в системе мировой экономики и международных экономических отношений // Гипотеза. СПб.: Фонд поддержки международного делового сотрудничества «Фонд международных инновационных программ», 2021. № 1 (14). С. 5-14.
9. Литвинова Ю. Г. Гонконг как финансовые ворота Китая // Общество и государство в Китае. 2021. Т. 51, № 40-1. С. 237-245.
10. Цзэпин Я. Гонконг как свободная экономическая зона реализации крупных инновационных проектов Китая // Вестник Российской таможенной академии. 2017. № 4. С. 173-178.
11. Business Ready (B-READY) / The World Bank [Электронный ресурс]. URL: <https://www.worldbank.org/en/businessready> (дата обращения: 07.04.2026).
12. Джан Л., Чен С. Цифровая экономика Китая: возможности и риски // Вестник международных организаций. 2019. Т. 14. № 2. С. 275-303.
13. Новопашин М. А. Формы взаимодействия экономик Гонконга и материкового Китая // Magister Dixit. 2015. № 1. С. 20-29.

Статья представлена научным руководителем, старшим преподавателем кафедры ЭД СПбГУТ, кандидатом экономических наук Т. И. Ююкиной.

УДК 334.021

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ

А. А. Шумельная (студент группы ЭМ-21, СПбГУТ),
shumelnaya.aa@sut.ru

В статье рассматриваются особенности формирования и развития цифровых экосистем в телекоммуникационной отрасли. Исследуются ключевые направления экосистемной трансформации операторов связи, их ресурсные преимущества и роль данных в развитии цифровых сервисов. Акцентируется внимание на переходе к комплексному обслуживанию клиентов и развитию партнерских моделей. На примере ПАО «МТС» показана практическая реализация экосистемного подхода.

цифровые экосистемы, телекоммуникационная отрасль, экосистемная модель, телеком-компании, облачные сервисы, клиентские данные

FEATURES OF THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF DIGITAL ECOSYSTEMS IN THE TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY

Shumelnaya A.

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines the features of the formation and development of digital ecosystems in the telecommunications industry. It explores the key directions of ecosystem transformation of telecom operators, their resource advantages, and the role of data in the development of digital services. Particular attention is paid to the transition toward comprehensive customer service and the development of partnership models. The practical implementation of the ecosystem approach is demonstrated using the example of MTS PJSC.

Key words: digital ecosystems, telecommunications industry, ecosystem model, telecom companies, cloud services, customer data

Ранее основным источником дохода телекоммуникационных операторов выступали голосовая связь, мобильный интернет и передача данных, но в настоящее время этого уже недостаточно для устойчивого роста, поскольку рынок становится более зрелым, а конкуренция со стороны цифровых сервисов усиливается. Одним из наиболее значимых направлений такой трансформации становится формирование цифровых экосистем, объединяющих инфраструктуру связи, цифровые продукты, данные о клиентах и партнерские сервисы в единую систему.

Цифровая экосистема в телекоммуникационной отрасли представляет собой совокупность взаимосвязанных сервисов, платформ и каналов взаимодействия, объединенных вокруг оператора связи и ориентированных на комплексное удовлетворение потребностей клиента.

Особенность формирования цифровых экосистем в телекоммуникационной отрасли состоит прежде всего в том, что операторы уже обладают широкой базой для такого перехода. К числу этой базы относятся телекоммуникационная инфраструктура, развитые каналы продаж, биллинговые системы, широкая абонентская база и накопленные данные о поведении пользователей. Именно поэтому телеком-компании имеют возможность быстрее, чем многие другие участники цифровой экономики, выстраивать новые сервисы вокруг уже существующего ядра бизнеса.

Еще одной важной особенностью является высокая роль клиентских данных и аналитики. В экосистемной модели данные перестают быть вспомогательным элементом и становятся одним из основных активов компании, так как позволяют глубже понимать потребности пользователей, прогнозировать спрос и формировать персональные предложения. Такая возможность делает взаимодействие клиента с компанией более удобным и повышает его лояльность.

Ключевой чертой формирования цифровых экосистем также выступает развитие партнерской модели, экосистема строится не только на внутренних разработках, но и на взаимодействии с техническими компаниями, поставщиками контента, финансовыми организациями и разработчиками цифровых сервисов [1]. Это означает, что современная телком-экосистема развивается как сеть взаимосвязанных решений, в которой оператор выполняет координирующую и интегрирующую функции.

Отдельного внимания заслуживает то, что развитие экосистемы в телекоммуникационной отрасли связано не только с расширением количества сервисов, но и с изменением самой логики бизнеса. В классической модели главной задачей оператора было подключить абонента и продавать ему связь, в экосистемной модели же компания стремится сопровождать клиента в большем числе повседневных и деловых сценариев, что позволяет повышать длительность взаимодействия с пользователем и увеличивать число точек контакта с ним, создавая тем самым более устойчивую модель потребления услуг.

Такой переход реализуется через развитие конкретных направлений цифровых экосистем, характерных именно для телекоммуникационной отрасли. К ним относятся:

1. Конвергентные услуги, которые представляют собой объединение различных телекоммуникационных услуг, таких как: мобильная связь, домашний интернет и телевидение, а также цифровых сервисов в единый тарифный пакет [2]. Объединение фиксированной и мобильной связи в рамках одного договора требует уникальной инфраструктуры, которой в полном объеме владеют только телеком-операторы.

2. Облачные сервисы, работающие на базе собственной инфраструктуры оператора, дают пользователям возможность удобно и безопасно хранить личные данные, а также получать к ним доступ с любого устройства. Телекоммуникационные компании имеют естественное преимущество в данной сфере в виде наличия собственных дата-центров и высокоскоростных сетей передачи данных.

3. Развитие сетей 5G для экосистемных сервисов. Модернизация создаст основу для появления новых сервисов и расширит возможности уже существующих, а также значительно улучшит качество предоставляемых услуг [3]. Развитие сетей связи входит в исключительную компетенцию телеком-операторов.

4. Финансовые сервисы являются одним из основных направлений развития экосистем в телекоммуникационной отрасли. Данное направление характерно для отрасли телекоммуникаций благодаря готовой биллинговой системе и данным о платежной дисциплине абонентов. Подобный подход позволяет обеспечить бесшовный клиентский опыт и помогает удерживать пользователя внутри экосистемы.

Показательным примером развития цифровой экосистемы выступает крупнейший телеком-оператор ПАО «МТС», численность экосистемных клиентов которого к концу 2025 года достигла 18 миллионов человек [4].

Компания строит собственную экосистему основываясь на имеющейся телеком-инфраструктуре, которая становится фундаментом для масштабирования цифровых сервисов.

Развитие экосистемы МТС сопровождается не только увеличением предоставляемых продуктов, но и изменением организационной структуры компании. Так, к концу 2025 года МТС завершила реорганизацию в холдинг, начатую еще в 2024 году. Ключевым результатом трансформации стало выделение автономных цифровых вертикалей таких как: FinTech,

FunTech, BigTech, AdTech и прочие, которые при сохранении единой клиентской базы и платежной инфраструктуры получили операционную самостоятельность.

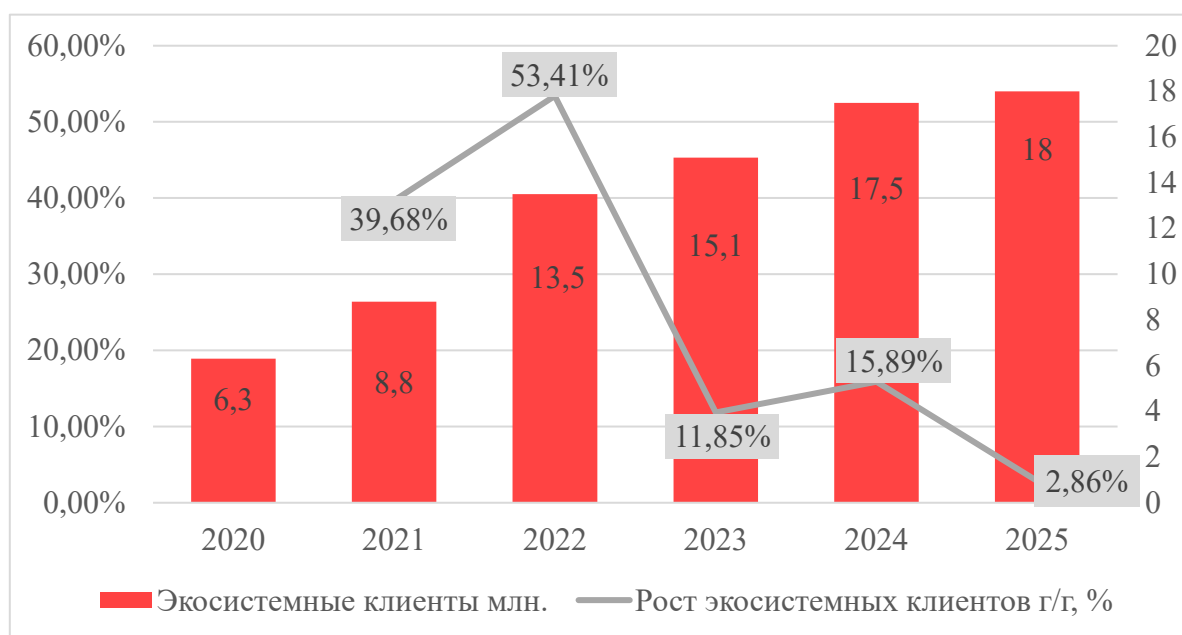


Рис. 1. Изменение количества экосистемных клиентов МТС [4, 5, 6, 7, 8]

На основе Big Data и AI-моделей МТС формирует персонализированные предложения. Ярким примером является проект «Умный кешбэк». Алгоритмы машинного обучения анализируют транзакционную активность и индивидуально подбирают категории кешбэка для каждого клиента. Внедрение «Умного кешбэка» привело к росту суммы вознаграждения клиентов на 4,2 % и увеличило транзакционную активность на 7 % [9].

Также компания развивает партнерскую модель. В сентябре 2025 года МТС AdTech и ПАО «МегаФон» объединили инфраструктуру для доставки рекламно-информационных сообщений. Результатом партнерства стало сокращение расходов на поддержку рекламных платформ до 12 % в год и повышение кибербезопасности коммуникаций [10].

Основным проявлением смены логики бизнеса выступает трансформация структуры доходов. По итогам второго квартала 2025 года доля экосистемных доходов в выручке компании составила 42 % [11].

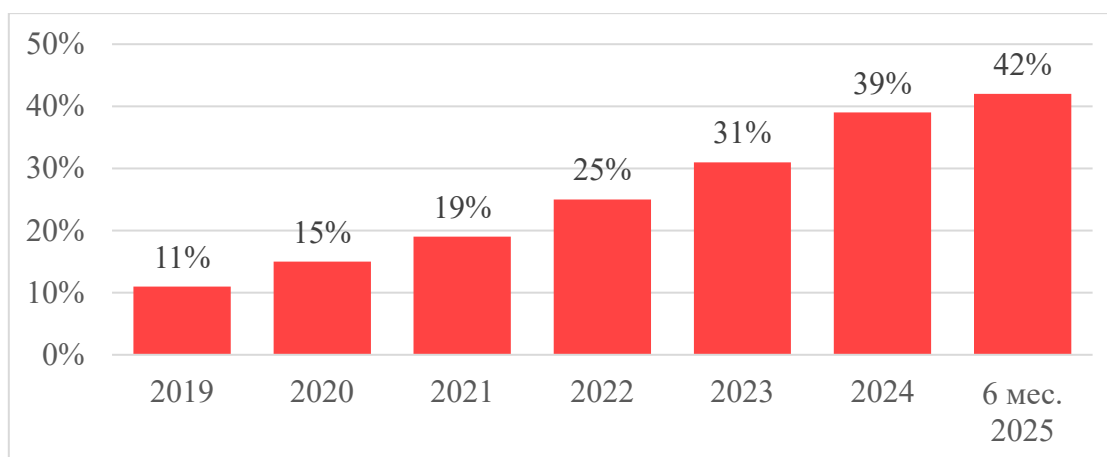


Рис. 2. Доля экосистемной выручки в выручке группы за 2019-2025 гг. [11]

Таким образом, формирование и развитие цифровых экосистем в телекоммуникационной отрасли опирается на существующие ресурсы операторов и характеризуется усилением роли данных, развитием партнерских моделей и переходом к комплексному обслуживанию клиентов.

Реализация данного подхода через цифровые сервисы и технологии сопровождается ростом экосистемных доходов, что подтверждает его значимость для отрасли.

Список используемых источников

1. Fw-T. Телком 2.0: от продажи трафика к цифровым экосистемам. URL: <https://fw-t.ru/articles/telekom-2-0-ot-prodazi-trafika-k-cifrovym-ekosistemam> (дата обращения: 03.04.2026).
2. Т-Инвестиции. Обзор индустрии телекомов в России. URL: <https://www.tbank.ru/invest/social/profile/T-Investments/15b8f670-8d28-4993-9973-0a54f89e981b/?author=profile> (дата обращения: 03.04.2026).
3. Mob-Systems. МТС 5G. URL: <https://mob-systems.ru/mobile/5g/> (дата обращения: 03.04.2026).
4. ПАО «МТС». Презентация финансовых результатов за III квартал 2025 года. URL: https://storage.ir.mts.ru/mts-ir/images/documents/results/MTS_%20%203кв.%20%202025%20Презентация.pdf (дата обращения: 04.04.2026).
5. ПАО «МТС». Презентация финансовых результатов за IV квартал 2021 года. URL: https://storage.ir.mts.ru/mts-ir/images/documents/results/finansovye_itogi_chetvertogo_kvartala_i_polnogo_2021_goda_prezentaciya_210622_ru.pdf (дата обращения: 04.04.2026).
6. ПАО «МТС». Презентация финансовых результатов за IV квартал 2022 года. URL: https://storage.ir.mts.ru/mts-ir/images/documents/results/rezult_Q4_2022_god_presentacia_correct_ru.pdf (дата обращения: 04.04.2026).
7. ПАО «МТС». Презентация финансовых результатов за IV квартал 2023 года. URL: https://storage.ir.mts.ru/mts-ir/images/documents/results/MTS_Q4_2023_Presentation_ru.pdf (дата обращения: 04.04.2026).
8. ПАО «МТС». Презентация финансовых результатов за IV квартал 2024 года. URL: https://storage.ir.mts.ru/mts-ir/images/documents/results/MTS_4кв_2024_Презентация.pdf (дата обращения: 04.04.2026).

9. FutureBanking. Кейс МТС на Премию FINNEXT. Умный кешбэк в экосистемном финтехпродукте дебетовой карте МТС Деньги. URL: <https://futurebanking.ru/post/4140> (дата обращения: 05.04.2026).

10. CNews. «МегаФон» и «МТС AdTech» реализовали прямой технологический стек для MarTech-коммуникаций // CNews. 2025. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-09-12_megafon_i_mts_adtech_i_realizovali (дата обращения: 04.04.2026).

11. ПАО «МТС». Презентация финансовых результатов за II квартал 2025 года. URL: https://storage.ir.mts.ru/mts-ir/images/documents/results/MTS_2kv_2025_Presentation.pdf (дата обращения: 04.04.2026).

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры ЭД СПбГУТ, кандидатом экономических наук, доцентом М. А. Егоровой.

**80-Я РЕГИОНАЛЬНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

СТУДЕНЧЕСКАЯ ВЕСНА

14-17 апреля 2026

**Сборник научных статей
Специальный выпуск**

Научное издание

Верстка

М. О. Мотыгина

Корректурa

Д. Н. Яшугин

Дизайн логотипа Г. И. Юрьев

Подписано в печать 20.10.2026

Объем 27,56 усл.-печ. л.

Объединенная редакция рецензируемых научных изданий СПбГУТ
193232 СПб., пр. Большевиков, 22, корп. 1

