



ISSN 2500-1833

*Международный научно-практический
электронный журнал
Основан в 2015 году, издается ежеквартально*

*Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК
Минобрнауки России для публикации научных результатов, отражающих
основное научное содержание кандидатских и докторских диссертаций*

Учредители:

*Региональное отделение Российской академии естественных наук,
АО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий»*

Издатель:

АО «Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий»

Главный редактор

Е.Е. Володина, д.э.н., акад. РАЕН

Редакционная коллегия:

Бабенко Л.К., д.т.н.

Бокк Г.О., д.т.н.

Веерпалу В.Э., д.т.н.

Гумеров М.Ф., д.э.н.

Дворянкин С.В., д.т.н.

Докучаев В.А., д.т.н.

Качалов Р.М., д.э.н.

Кинэ Эмиль, Ph. D., Франция

Кобылко А.А., к.э.н.

Лившиц В.Н., д.э.н.

Макаров В.В., д.э.н.

Мызникова М.Н., к.э.н.

Панов С.А. д.т.н.

Салютина Т.Ю., д.э.н.

Сю Гуанхан, д.т.н., Китай

Шаталова О.М. д.э.н.,

Шорин О.А., д.т.н.

Ведущий редактор *Дуничева Н.С.*

Редактор *Федорова О.В.*

*Журнал публикует статьи, отражающие результаты исследований в
соответствии со следующими разделами ГРНТИ:*

06.00.00 – Экономика и экономические науки

20.00.00 – Информатика

28.00.00 – Кибернетика

47.00.00 – Электроника. Радиотехника

49.00.00 – Связь

81.93.29 – Информационная безопасность

82.00.00 – Организация и управление

90.00.00 – Метрология

Адрес редакции: *111024, Москва, ул. Авиамоторная, дом 8А, стр. 5.
АО «НИРИТ»*

сайт: *http://journal-ekss.ru/ e-mail: journal-ekss@mail.ru тел.: +7(495)423-57-80*

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГОСУДАРСТВА И ОБЩЕСТВА. ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ БИЗНЕС-ТЕХНОЛОГИИ

<i>В.В. Макаров, О.В. Волчик</i> Особенности цифровой трансформации менеджмента бизнес-процессов предприятия на основе цикла Деминга	4-10
<i>Е.В. Павлова, Ю.В. Кулакова</i> Перспективы развития нейросетевых технологий в условиях цифровизации экономики	10-17
<i>К.Н. Ипатьев</i> Вопросы комплексного урегулирования задолженности физических лиц	17-29
<i>О.И. Шаравова, А.А. Вольнов, А.Д. Кузовков</i> Оценка социально-экономических последствий эволюции ИКТ и их интеграции в бизнес	29-41
<i>Т.А. Кузовкова, М.М. Шаравова, Д.А. Катунин</i> Анализ перспектив развития искусственного интеллекта	41-47
<i>С.А. Дежкина</i> Личностно-развивающий потенциал как фактор профессионального развития	47-52

СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА СВЯЗИ. РАДИОТЕХНИКА. АНТЕННЫ. ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ. МЕТРОЛОГИЯ

<i>В.Э. Русанов</i> Исследование свойств автокорреляционной функции одного периода последовательности Задова-Чу	53-59
<i>А.Ю. Ларионов, Е.Е. Каранова</i> Анализ принципов функционирования модуля mmWave и обзор алгоритмов планирования для оптимизации распределения ресурсов	60-70

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, СЕТИ И ТЕХНОЛОГИИ. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

М.Г. Городничев, А.В. Тимчук, Г.М. Мкртчян

Сравнение методов акустического детектирования, классификации и локализации для решения задач обнаружения событий и сцен	71-81
<i>М.М. Добрышин, В.А. Фролов</i>	
Модель оценки влияния системы обеспечения информационной безопасности на качество предоставляемых услуг корпоративной сети связи	81-90
<i>Д.С. Горбуля</i>	
Вариант применения нейросетей для прогнозирования изменения параметров качества арендуемых информационных потоков	90-98
<i>О.И. Васильев, В.Ю. Медведев</i>	
Значение рефакторинга кода при оценке качества программных систем	98-106
<i>М.Ю. Федосенко</i>	
Особенности и перспективы реализации банковских систем противодействия мошенничеству на технологии блокчейн	107-113
<i>Г.М. Нурудинов</i>	
Адаптивное управление трафиком в SDN-сетях с применением машинного обучения	114-122
<i>Л.А. Плотников</i>	
Перспективы реализации спутниковой группировки «Сфера» для обеспечения достижений научно-технических целей развития Российской Федерации	122-128
<i>М.Э. Джалалов</i>	
Применение шаблонов проектирования для управления API в микросервисной архитектуре	128-136
<i>М.Э. Джалалов</i>	
Стратегии управления версионностью API в микросервисной архитектуре	136-143

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГОСУДАРСТВА И ОБЩЕСТВА. ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ БИЗНЕС- ТЕХНОЛОГИИ

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МЕНЕДЖМЕНТА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ЦИКЛА ДЕМИНГА

В.В. Макаров, д.э.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, akad.makarov@mail.ru;

О.В. Волчик, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ovolchik@yandex.ru.

УДК 005.4

Аннотация. В статье рассмотрены особенности цифровой трансформации способов управления бизнес-процессами и направления преобразований, связанные с внедрением концепции «Менеджмент 4.0». Обозначены преимущества перехода на гибкие модели управления. Предложена модификация этапов цикла PDCA с учетом цифровизации менеджмента бизнес-процессов. Приведены факторы, влияющие на применение «Менеджмента 4.0» бизнесом.

Ключевые слова: цифровая трансформация; менеджмент бизнес-процессов; VUCA-мир; цикл Деминга; «Менеджмент 4.0»; система менеджмента.

FEATURES OF DIGITAL TRANSFORMATION OF ENTERPRISE BUSINESS PROCESS MANAGEMENT BASED ON THE DEMING CYCLE

V.V. Makarov, Doctor of Economics, professor, St. Petersburg State University of Telecommunications named after professor M.A. Bonch-Bruevich;

O.V. Volchik, St. Petersburg State University of Telecommunications named after professor M.A. Bonch-Bruevich;

Annotation. The article considers the features of business process management methods digital transformation and areas of transformation, associated with the introduction of the «Management 4.0» concept. The advantages of transition to flexible management models are outlined. The modification of PDCA cycle stages is proposed taking into account the digitalization of business process management. The factors influencing the application of «Management 4.0» by business are given.

Keywords: digital transformation; business process management; VUCA-world; Deming cycle; «Management 4.0»; management system.

Введение

Современный мир характеризуется отсутствием стабильности (*volatility*), неопределенностью прогнозов (*uncertainty*), сложностью взаимоотношений (*complexity*) и неоднозначностью подходов к решению проблем (*ambiguity*). Явления, так называемого, VUCA-мира постепенно проникают в самые разные сферы жизни общества [1]. Не обошли они стороной и вопросы, касающиеся

современного менеджмента, побуждая компании находить возможности для быстрой и эффективной реакции на постоянно изменяющиеся условия. Одной из таких возможностей является цифровая трансформация способов управления бизнес-процессами, позволяющая преобразовать систему менеджмента предприятия и ее основные функции – планирование, организацию, координацию, мотивацию и контроль [2].

Цифровая трансформация кардинально меняет организационные сферы деятельности, такие, как опыт работы с клиентами, организационную структуру предприятия, методы принятия решений [3] и приводит к формированию новой управленческой концепции под названием «Менеджмент 4.0».

Нередко «Менеджмент 4.0» воспринимается исключительно, как внедрение в компании инновационных технологий, таких как искусственный интеллект, блокчейн, интернет вещей, большие данные, роботизация. Однако применение современных инструментов цифровизации в менеджменте является лишь малой частью описываемой концепции.

Наиболее значительные направления преобразований, связанные с Менеджментом 4.0, [4, 5], представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Направление	Изменение
Технологии	Интеграция новых и применение существующих технологий, связанных с искусственным интеллектом, анализом большого количества данных, машинным обучением.
Схемы работы	Построение более гибких рабочих процессов, настроенных на внедрение инноваций, быстро адаптирующихся к изменениям, соответствующих ожиданиям работников и клиентов.
Бизнес-модели	Использование передовых динамических подходов на основе цифровой экономики к формированию бизнес-моделей, доступных управленцам различного уровня.
Лидерство	Командно-контрольные стили управления уходят в прошлое, появляется необходимость в формировании гибких стратегий развития компании, а также изменений в ее структуре для поддержки цифровой трансформации.
Непрерывное образование	Рост уровня значимости программ повышения квалификации и переподготовки для формирования цифрового мышления и новых навыков у работников.

Как видно из приведенных данных, элементы концепции затрагивают различные сферы деятельности предприятия.

В рамках Менеджмента 4.0 статические модели управления бизнес-процессами предприятия меняются на динамические (гибкие), в том числе за счет применения соответствующих цифровых инструментов [6]. Гибкие модели строятся на понятиях поддержки и тестирования гипотез, а также адаптивности – возможности реализации заранее не предусмотренных действий. Это позволяет не только учитывать будущие риски, но и формировать системы знаний с наилучшими практиками, выбирать оптимальные варианты развития событий,

сокращать длительность оптимизации бизнес-процессов и создавать их эталоны, налаживать взаимодействие между участниками операций [7].

Значимым аспектом при этом является ориентация цифровых решений по управлению бизнес-процессами на выполнение требований международных стандартов *ISO* серии 9000 «Системы менеджмента качества», так как эти стандарты предлагают четкие алгоритмы действий для проведения цифровой трансформации.

Вне зависимости от выбранных моделей менеджмента бизнес-процессов наиболее важным остается вопрос построения и реализации цикла их постоянного улучшения. Для этого применяется так называемый цикл Деминга/*PDCA* (*Plan-Do-Check-Act*), наиболее подробно описанный в стандарте *ISO* 9001 «Системы менеджмента качества. Требования» [8] и представленный на рис. 1.

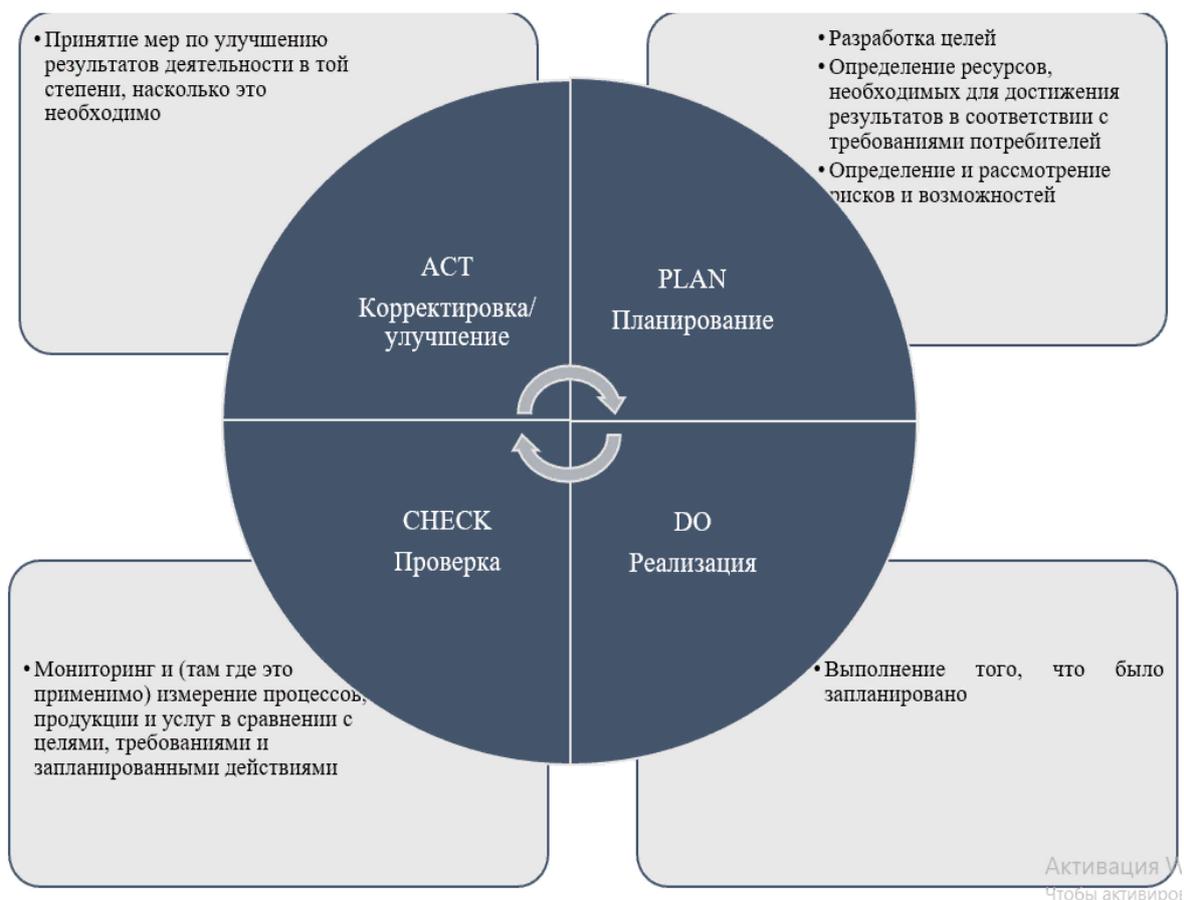


Рисунок 1

Модификация этапов цикла *PDCA* с точки зрения цифровизации менеджмента бизнес-процессов предприятия [9, 10] представлена в табл. 2.

Таблица 2.

Фаза цикла	Мероприятия	Цифровая трансформация мероприятий	Изменение показателей
Планирование	<ul style="list-style-type: none"> • Определение целевых показателей. • Определение ресурсов для достижения результатов, соответствующих требованиям потребителей. • Определение и оценка рисков и возможностей. 	<ul style="list-style-type: none"> • Применение многопараметрических моделей для составления исполнимых планов. • Применение инструментов постановки задач в коротком горизонте планирования. • Отслеживание и учет проблем в режиме реального времени. • Анализ чувствительности для определения параметров, влияющих на исполнимость плана. • Внедрение систем управления нормативно-справочной информацией, перевод технической документации на машинный язык. • Моделирование сценариев и прогнозов на базе цифровых двойников. • Интеграция плановых показателей деятельности. • Применение регрессионных, классификационных и интегральных моделей оценки рисков на базе искусственного интеллекта. 	<ul style="list-style-type: none"> • Рост рентабельности. • Снижение объемов незавершенного производства. • Снижение времени простоев. • Рост объемов выпуска. • Повышение качества продукции. • Снижение затрат на перепланирование.
Реализация	<ul style="list-style-type: none"> • Обеспечение наличия запланированных ресурсов. • Обеспечение компетентности участников бизнес-процессов. • Определение порядка обмена информацией. • Создание необходимой документации и управление ею. • Организация производства продукции/ оказания услуг в управляемых условиях. 	<ul style="list-style-type: none"> • Обеспечение цифровой прослеживаемости и электронного учета ресурсов. • Обмен данными между участниками бизнес-процессов в онлайн-режиме. • Сбор и систематизация информации, сопровождающей бизнес-процесс, в различных форматах. • Применение цифровых советчиков для повышения адаптивности бизнес-процессов и оперативного реагирования на изменения условий работы. 	<ul style="list-style-type: none"> • Снижение операционных издержек и затрат на учет ТМЦ. • Упрощение процесса проведения инвентаризации. • Уменьшение количества незапланированных платежей. • Снижение уровня рисков и убытков от их реализации. • Сокращение цикла производства. • Рост качества трудовых ресурсов.

Фаза цикла	Мероприятия	Цифровая трансформация мероприятий	Изменение показателей
	<ul style="list-style-type: none"> • Определение и анализ требований к продукции/ услуге. • Управление изменениями и результатами процессов, не соответствующих требованиям. 	<ul style="list-style-type: none"> • Применение технологий дополненной и виртуальной реальности в обучении сотрудников. • Применение электронных инструментов визуализации (дашборды, доски решения проблем). 	
Проверка	<ul style="list-style-type: none"> • Мониторинг, измерение и оценка результатов деятельности и удовлетворенности потребителей. • Анализ системы менеджмента бизнес-процессов на предмет ее результативности. • Организация проведения внутренних аудитов. 	<ul style="list-style-type: none"> • Применение датчиков, технологий бесконтактного считывания, мобильных приложений для отслеживания параметров работы. • Создание центров обработки данных. • Автоматизация сбора информации о простоях и выходах из строя оборудования. • Оперативный визуальный контроль с автоматическим разбором событий. • Формирование отчетности в электронном виде. 	<ul style="list-style-type: none"> • Более комфортные и безопасные рабочие места. • Прозрачность статистики, полученной из массива собранных данных. • Раннее выявление рисков и угроз.
Корректировка / улучшение	<ul style="list-style-type: none"> • Определение и выбор возможностей для улучшения бизнес-процессов. • Реализация мероприятий для выполнения требований потребителей и повышения их удовлетворенности. • Реагирование на появление несоответствий, их коррекция. • Реализация мероприятий по устранению последствий и причин несоответствий. • Определение мер для улучшения. 	<ul style="list-style-type: none"> • Наличие аналитических блоков в информационных системах для выявления значимых трендов и принятия системных решений. • Создание цифровых каналов для связи с клиентами. • Замкнутые автоматизированные контуры для опасных процессов во избежание риска для человека. • Разработка программ и решений в части изменения стилей управления и повышения мотивации сотрудников. • Содействие внедрению систем с автоматической оптимизацией за счет алгоритмов самообучения. 	<ul style="list-style-type: none"> • Своевременные управленческие решения на основе собранной аналитики. • Упрощение и повышение скорости разработки предупреждающих и корректирующих действий.

Важнейшими факторами, влияющими на успешность применения концепции «Менеджмент 4.0», являются:

- поддержка руководства в продвижении цифровой трансформации и вовлечение в этот процесс работников;
- создание межфункциональных команд из работников, являющихся участниками бизнес-процессов для проведения последующих преобразований и формирования баз знаний [11];
- изменение существующей организационной структуры предприятия;
- оценка рисков, связанных с планируемым или уже реализованным внедрением инноваций в бизнес-процессы предприятия [12];
- проведение анализа требований стейкхолдеров, а также изменений, произошедших в деятельности компании и формирование на их основе новых стратегических целевых показателей.

Заключение

Управление бизнес-процессами необходимо начинать не с больших вложений в новые цифровые технологии, а с изучения существующих регламентов и алгоритмов, выявления недостатков и их коррекции.

Увлечение руководства цифровыми новинками без проведения анализа бизнес-потребностей и оценки стратегических целей предприятия может дать лишь незначительный кратковременный эффект [13].

Несмотря на то, что методологии описания бизнес-процессов существуют уже почти полвека, лишь незначительное количество компаний занимаются их развитием и оптимизацией. Помимо внедрения цифровых инструментов, необходимо также трансформировать модели построения бизнеса, структуры управления, информационные системы. В этом может помочь концепция «Менеджмент 4.0», меняющая принципы управления и позволяющая быстро адаптировать их под требования потребителей [14].

Проблема упрощенного восприятия концепции «Менеджмент 4.0», исключительно как процесса внедрения цифровых технологий, усугубляется еще и тем, что с одной стороны, лучше всего приспосабливаются к VUCA-миру люди, обладающие высоким уровнем интеллекта, креативным мышлением, навыками решения сложных задач в условиях неопределенности [15]. С другой – бесконтрольное внедрение новейших инструментов цифровизации может приводить к отсутствию инициативности работников, чрезмерному доверию машине при принятии решений и появлению соответствующих последствий от принятия некорректного решения. Поиск возможностей для устранения данного противоречия является важным направлением современной управленческой науки.

Литература

1. Сизова Ю.С. Современный предприниматель в VUCA мире – преимущества и сложности // Экономика и бизнес: теория и практика, 2019. – № 8. – С. 145-150.
2. Кубарь М.А. Функции менеджмента и их взаимосвязь // Экономика и социум, 2020. – № 5-1 (72). – С. 779-781.
3. Ценжарик М., Крылова Ю., Стешенко В. Цифровая трансформация компаний: стратегический анализ, факторы влияния и модели // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика, 2020. – № 36 (3). – С. 390-420.
4. Палилов Ф.Б., Гарнова В.Ю. От классической школы к Менеджменту 4.0: эволюция идей основных школ управленческой мысли на пути к четвертой промышленной революции // Лидерство и менеджмент, 2023. – Т. 10. – № 4. – С. 1109-1124.

5. Haleem A., Javaid M., Singh R.P., Suman R., Khan Sh. Management 4.0: Concept, applications and advancements // Sustainable Operations and Computers, 2023. – Vol. 4. – P. 10-21.
6. Пономарева С.В. Влияние цифровой трансформации на эффективность бизнес-процессов и конкурентоспособность предприятий // Индустриальная экономика, 2022. – Т. 6. – № 5. – С. 518-524.
7. Макаров В.В. Цифровая трансформация экономики и технологические инновации на предприятии // Проблемы современной экономики, 2021. – № 2 (78), – С. 35-38.
8. ISO 9001:2015. Системы менеджмента качества. Требования: Международный стандарт: опубликован Техническим комитетом ISO/TC 176 Менеджмент качества и обеспечение качества, Подкомитет ПК 2 Системы качества. 09.2015 г. – URL: iso-group.ru (дата обращения: 15.01.2024).
9. Гоглев Н.Н., Касаткина Е.В. Управление рисками с применением современных технологий искусственного интеллекта и анализа больших данных // Цифровая экономика, 2022. – № 2 (18). – С. 38-45.
10. Александрова Т.В. Формирование концептуальной модели цифровой трансформации производственных бизнес-процессов на нефтегазовых предприятиях // Вестник Томского государственного университета. Экономика, 2019. – № 48. – С. 233-251.
11. Слуцкий М.Г., Макаров В.В. Формирование новых корпоративных ценностей и ключевых компетенций в процессе цифровой трансформации телекоммуникационной компании // Журнал правовых и экономических исследований, 2022. – № 3. – С. 254-259.
12. Зайковский В.Э., Карев А.В. Риски цифровой трансформации промышленного предприятия // Проблемы анализа риска, 2021. – Т. 18. – № 5. – С. 48-55.
13. Летуновская Ю.А., Романова К.И. Совершенствование управления бизнес-процессами в организации в условиях роста цифровизации // Молодой ученый, 2022. – № 49 (444). – С. 19-23.
14. Гадасина Л.В., Пивень Г.И. Цифровизация – угроза или возможность развития для менеджмента? // Вопросы инновационной экономики, 2018. – Т. 8. – № 4. – С. 565-574.
15. Дегтярева Н.А. Профессиональная мобильность в условиях VUCA-мира // Национальная безопасность и молодежная политика: киберсоциализация и трансформация ценностей в VUCA-мире: материалы Международной научно-практической конференции, Челябинск, 21-22 апреля 2021 года. – Челябинск: Издательство Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета, 2021. – С. 27-31.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Е.В. Павлова, к.э.н., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. Бонч-Бруевича, epavlova.pnd-9@yandex.ru;

Ю.В. Кулакова, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. Бонч-Бруевича, milelya@yandex.ru.

УДК 338

Аннотация. В статье раскрывается значение нейросетевых технологий и их роль в цифровой трансформации различных компонентов бизнес-среды и

российской экономики в целом, проводится исследование текущего состояния и перспективы развития технологии искусственного интеллекта в отечественных компаниях, а также представляется обзор существующих и проектируемых российских нейросетей крупнейших представителей бизнес-экосистем.

Ключевые слова: нейронные сети; российские нейросетевые технологии; искусственный интеллект; цифровая экономика; цифровая трансформация; бизнес-экосистемы.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION OF THE ECONOMY

E.V. Pavlova, Ph.D. in Economics, St. Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. Bonch-Bruевич;

Yu.V. Kulakova, St. Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. Bonch-Bruевич.

Annotation. The article reveals the importance of neural network technologies and their role in the digital transformation of various components of the business environment and the Russian economy as a whole, examines the current state and prospects for the development of artificial intelligence technology in domestic companies, and provides an overview of existing and projected Russian neural networks of the largest representatives of business ecosystems.

Keywords: neural networks; Russian neural network technologies; artificial intelligence; digital economy; digital transformation; business ecosystems.

Введение

В настоящее время нейронные сети являются одним из самых актуальных направлений, способных автоматизировать различные бизнес-процессы во многих сферах деятельности и отраслях экономики, таких как, медицина, маркетинг, производство, розничная торговля, банковская сфера и многие другие. Применение нейросетей и технологии искусственного интеллекта позволяет увеличить скорость обработки больших объемов данных, сократить объемы трудовых, временных и финансовых ресурсов, используемых на предприятии, и как следствие максимизировать прибыльность бизнеса, увеличить его масштабы и повысить капитализацию. Актуальность рассматриваемого вопроса обусловила проведение исследования тенденций развития отечественных технологий искусственного интеллекта и обзор существующих на российском рынке нейросетей крупнейших бизнес-экосистем: *YaLM* и *YaLM 100B* компании «Яндекс», *ruDALL-E Malevich*, *ruDALLE-E Kandinsky*, *mGPT*, *GigaChat* ПАО «Сбербанк», *NeuroHD* – «ВКонтакте».

Анализ развития российских нейросетевых технологий

Нейросетевые технологии применяются для решения сложных практических задач, особенно в тех сферах, где требуется нестандартный подход, который не поддается описанию имеющимися алгоритмическими инструментами [1-3]. Разработками в области искусственного интеллекта занимаются крупнейшие российские бизнес-экосистемы: «Яндекс», ПАО «Сбербанк», «ВКонтакте». Рассмотрим наиболее перспективные и востребованные из данных разработок.

Компания «Яндекс» представила летом 2021 г. первую версию генеративной нейросети от *YaLM*, которая расшифровывается как *Yet another Language Model*. Продуктами, в которые компания внедрила искусственный интеллект, стали

инструменты Яндекс.Поиск и голосовой помощник «Алиса» [4]. В 2022 г. компания «Яндекс» выложила свою самую большую на этот момент модель на 100 млрд параметров *YaLM 100B* в свободный доступ. Поскольку модель опубликована под лицензией *Apache 2.0*, использовать наработки компании можно как в исследовательских, так и в коммерческих целях.

Кроме того, Яндекс работает над собственной версией *ChatGPT*. Данная разработка носит официальное наименование *YaLM 2.0*. Компания планирует встроить нейросеть в свои популярные сервисы – *YaLM 2.0*, она также станет компонентом «Яндекс.Поиск», электронной почты, ассистента «Алиса» и ряда других продуктов Яндекса. Внедрение искусственного интеллекта позволит поисковой системе Яндекса не просто предлагать ссылки на источники информации, но и генерировать ответы, как это делает *ChatGPT*. Ассистент «Алиса» сможет эффективнее распознавать и удерживать контекст беседы, отвечать на сложные вопросы пользователей [5].

Еще один отечественный техногигант также не отстает от тенденций: в конце 2021 г. команда VK Видео представила *NeuroHD* – продвинутую нейросеть из семейства генеративно-состязательных сетей. Задача *NeuroHD* заключается в повышении качества и разрешения видеоконтента, размещаемого на платформе. Работает данная нейросеть на базе двух моделей: одна генерирует увеличенное изображение, а другая следит за тем, чтобы эти изображения не отличались от настоящей картинки. Но существуют ограничения доступа к данной разработке, так как *NeuroHD* встроена в сервис и не доступна для общего пользования, то воспользоваться нейросетью не представляется возможным.

В конце 2022 г. нейросеть *ChatGPT* продемонстрировала, что искусственный интеллект осваивает новые возможности и его функционал пополнился способностью генерировать тесты и коды программ. Владелец вышеназванной нейросети является компания *OpenAI* из Соединенных Штатов Америки. *OpenAI* в 2021 г. создала нейросеть *DALL-E 2*, которая позволяет создавать графические изображения, исходя из текстового задания.

В связи с работой российской экономики в санкционных условиях с 2022 г. разработки компании *OpenAI* не распространяются на территории Российской Федерации. Тем не менее в России отечественные программисты разработали подобный продукт, с помощью которого имеется возможность производить графические рисунки в соответствии с техническим заданием в тестовом формате. Нейросети с подобным функционалом не уникальны, так, например, сеть *TurboText*, от разработчика *Telegram*, также обладает способностью воспроизводить рисунки, генерировать рерайты, создавать темы, придумывать описания продуктов и формировать положительные отзывы.

Среднегодовой рост российского рынка нейросетевых технологий до 2024 г. оценивается в размере 18,5%. На основании исследований МФТИ в 2021 г. объем рынка нейросетевых технологий был равен 550 млрд руб., при этом продемонстрировав в секторе инноваций и стартапов увеличение на 170 %. Положительная тенденция характерна и для рынка *Big Data*, как непосредственно взаимосвязанного с рынком искусственного интеллекта. Так в 2021 г. объем вышеназванного сегмента равнялся 46 млрд руб., стоит отметить, что с 2010 г. этот показатель имел только позитивный тренд. Российские исследователи в данной сфере также демонстрируют высокую активность: в 2021 г. Россия заняла 17-е место в мире по публикациям в научных журналах и публикациям по итогам научных конференций.

По данным ИСИЭЗ НИУ ВШЭ еще в 2020 г. одна треть компаний со штатом свыше 10 000 сотрудников применяли нейросети и технологии искусственного интеллекта. Ключевым игроком в этой сфере можно назвать ПАО «Сбербанк»,

обладающий обширным портфелем разработок технологий искусственного интеллекта. Так, в 2021 г. ПАО «Сбербанк» совместно с *X5 Retail Group* внедрили на кассах самообслуживания сервис оплаты товаров взглядом – достаточно посмотреть в камеру, и она распознает лицо, сопоставляя его с уникальным номером, привязанным к данным пользователя. На этапе пилотного проекта удалось сократить время совершения покупки в 2-2,5 раза. Интересно, что наблюдался и рост среднего чека, и трафика в магазинах, где стала доступной оплата взглядом [6-8].

Кроме того, у компании насчитывается уже несколько генеративных моделей-художников: *ruDALL-E Malevich*, *ruDALLE-E Kandinsky* и *ruDALL-E Kandinsky 2.0*, которые обладают возможностями за несколько минут создавать красочные изображения по техническому запросу потребителя. Ограничений по использованию кода наиболее продвинутой модели *Kandinsky 2.0* нет, и данный генератор доступен всем пользователям на платформах *GitHub* или *HuggingFace*.

Помимо вышеназванных нейронных сетей командой разработчиков *SberDevices* ПАО «Сбербанк» представлена текстогенерирующая нейросеть *mGPT* или многоязычная версия *GPT-3*. Отличие данной нейросети от аналогичных заключается в поддержке значительного числа языков: *mGPT* умеет создавать текстовую информацию на 61 языке, в том числе, включая языки народов России и сопредельных государств. При этом, базовая версия доступна всем желающим пользователям. Разработчики также отмечают, что с помощью нейросети можно не только генерировать тексты, но и решать задачи в сфере обработки естественного языка посредством дообучения или в составе набора моделей. Кроме того, у Сбербанка это не единственная разработка: так в 2020 г. компания показала *ruGPT-3*. Ее разработчики позиционировали как самую большую AI-модель для русского языка, которая умеет писать тексты.

Наиболее ожидаемой нейросетью ПАО «Сбербанк» стала еще одна проектная разработка – *GigaChat*, позиционируемая в качестве аналога американского *ChatGPT*. В функционал данной сети включено общение с пользователями, поиск ответов на их вопросы, генерация программного кода. Отечественная разработка по сравнению с *ChatGPT* максимально адаптирована для русскоязычного пользователя, так как учитывает все лингвистические особенности русского языка.

GigaChat основана на базах нейросетей *NeONKA* и *Kandinsky 2.1*. и имеет открытую архитектуру, что позволит использовать ее код каждому желающему пользователю. По замыслу разработчиков *GigaChat* будет полезен не только обычным пользователям, но также и учащимся высших учебных заведений и тем, кто участвует в различных исследованиях и разработках. На данный момент времени нейросеть применяется в виртуальном ассистенте «Салют», а также других продуктах и сервисах Сбербанка [9].

Предполагается, что нейросеть *GigaChat* также найдет применение у сотрудников, работающих в области журналистики, редактирования, программирования, педагогической деятельности, маркетинга и образования. На текущий момент нейросеть не доступна для широкого пользователя, но тем не менее посредством регистрации в определенном сообществе становится возможной к использованию ее бета-версии [10].

Обобщенные данные по представленным на российском рынке нейросетям приведены в табл. 1.

Таблица 1.

№ п/п	Наименование компании/ разработчика	Название нейросети	Вид нейросети	Назначение нейросети	Вид доступа
1.	«Яндекс»	<i>YaLM (Yet another Language Model)</i>	Генеративная	Предложение ссылок на источники информации, генерирование ответов на запросы	Ограниченный
2.	«Яндекс»	<i>YaLM 100B</i>	Генеративная	Предложение ссылок на источники информации, генерирование ответов на запросы	Свободный
3.	«Яндекс»	<i>YaLM 2.0</i>	Генеративная	Предложение ссылок на источники информации, генерирование ответов на запросы	Ограниченный
4.	«ВКонтакте»	<i>NeuroHD</i>	Генеративно-состязательная	Повышение качества и разрешения видеоконтента	Ограниченный
5.	«Телеграмм»	<i>TurboText</i>	Генеративная	Воспроизводство графических изображений, генерация рерайтов, создание тем, описание продуктов, формирование положительных отзывов	Ограниченный
6.	ПАО «Сбербанк»	<i>ruDALL-E Malevich</i>	Графическая генеративная	Создание графических изображений по техническому заданию потребителя	Свободный
7.	ПАО «Сбербанк»	<i>ruDALLE-E Kandinsky</i>	Графическая генеративная	Создание графических изображений по техническому заданию потребителя	Свободный
8.	ПАО «Сбербанк»	<i>ruDALL-E Kandinsky 2.0</i>	Графическая генеративная	Создание графических изображений по техническому	Свободный

№ п/п	Наименование компании/ разработчика	Название нейросети	Вид нейросети	Назначение нейросети	Вид доступа
				заданию потребителя	
9.	ПАО «Сбербанк»	<i>ruGPT-3</i>	Тексто-генерирующая	Написание текстов по запросу пользователя	Свободный
10.	ПАО «Сбербанк»	<i>mGPT/ GPT-3</i>	Тексто-генерирующая	Создание текстовой информации на 61 языке, решение задач в сфере обработки естественного языка	Свободный
11.	ПАО «Сбербанк»	<i>GigaChat</i>	Большая языковая модель	Общение с пользователями, поиск ответов на их вопросы, генерация текстов и программного кода	Ограниченный

Чтобы понимать актуальность развития нейросетевых технологий, необходимо рассмотреть их применение в разных областях. Например, в здравоохранении в Москве была внедрена система поддержки принятия врачебных решений на базе искусственного интеллекта. В данную медицинскую систему загружается вся информация, поступающая от пациента к лечащему врачу, а также все результаты анализов и проведенных лабораторных исследований и диагностик. Система позволяет обрабатывать огромные объемы информации в минимальные сроки и с минимальной вероятностью ошибки, и помогает врачам быстро и точно ставить предварительные диагнозы, а также назначать исследования и консультации для их подтверждения [11-13].

Алгоритм данного процесса следующий: врач вносит жалобы пациента в Единую медицинскую информационно-аналитическую систему Москвы (ЕМИАС), искусственный интеллект анализирует их и предлагает несколько вариантов диагноза [14-15]. Врач изучает ответы нейросети и выбирает один из трех вариантов. При этом приоритетное решение остается за сотрудником медицинского учреждения: если ни один из предложенных диагнозов не устраивает специалиста, то он регистрирует в системе диагноз, который считает целесообразным.

Заключение

Нейросети – один из главных технологических прорывов в 2022-2023 гг. Нейросетевые технологии приобретают все большее значение во многих отраслях и сферах деятельности благодаря тому, что они могут применяться для решения сложных практических задач, где стандартные математические алгоритмы не дают нужных результатов. Нейронные сети являются одним из наиболее перспективных областей развития искусственного интеллекта в России, потому что они повышают эффективность работы различных систем и устройств, элементов бизнес-среды, а также облегчают жизнь людей и делают ее безопаснее. Благодаря мощным

научным центрам и кадровому потенциалу, Россия может стать одним из мировых лидеров в этой области.

Литература

1. Жолобова А.И., Макаров В.В., Павлова Е.В. Информационные технологии в цифровой экономике // Экономика и бизнес: теория и практика, 2021. – № 7 (77). – С. 59-62.
2. Исаков А.В., Павлова Е.В. Проблемы внедрения программных информационных систем на предприятиях // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2020). Сборник научных статей IX Международной научно-технической и научно-методической конференции. В 4-х т. Санкт-Петербург, 2020. – С. 650-654.
3. Исаков А.В., Павлова Е.В. Некоторые практические рекомендации по внедрению программных информационных систем на предприятиях // Современные проблемы менеджмента: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сборник научных трудов / Под. общ. ред. к-та экон. наук, доц. О.Ю. Сыроватской. – СПб.: ООО «Скифия-принт», 2020. – С. 103-107.
4. Кушнир Л.Д. Особенности и проблемы использования искусственного интеллекта // Студенческая весна – 2022. 76-я Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 2022. – С. 112-117.
5. Жолобова А.И., Макаров В.В., Павлова Е.В. Проблемы развития рынка информационных технологий в условиях пандемии // Евразийское Научное Объединение, 2021. – № 10-3 (80). – С. 181-184.
6. Кваша Н.В., Исаков А.В., Павлова Е.В., Слуцкий М.Г. Прогнозирование и планирование в условиях формирования цифровой экономики. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2022. – 95 с.
7. Павлова Е.В., Макаров В.В., Исаков А.В. Организация и управление предприятиями. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2021. – 103 с.
8. Павлова Е.В. Интеграция цифровой экономики в социальные сферы деятельности // Социогуманитарные коммуникации, 2023. – № 2 (4). – С. 19-23.
9. URL: <https://issek.hse.ru/news/542527560.html> (дата обращения – январь 2024 г.).
10. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6446a60c9a79470d569f8d3b> (дата обращения – январь 2024 г.).
11. Куганов В.Г., Павлова Е.В., Лобанов М.А. Повышение качества жизни посредством внедрения цифровых технологий // В сборнике: Качество жизни населения промышленных территорий в стратегии «Общество 5.0». сборник материалов конференции. Набережночелнинский институт Казанского Федерального университета. Казань, 2022. – С. 51-53.
12. Исаков А.В., Павлова Е.В. Особенности цифровой трансформации сферы здравоохранения // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023). Сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции. В 4-х томах. Под редакцией С.И. Макаренко, сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич. Санкт-Петербург, 2023. – С. 75-78.
13. Исаков А.В., Павлова Е.В. Этапы интеграции элементов цифровой экономики в сферу здравоохранения // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023). Сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической

конференции. В 4-х томах. Под редакцией С.И. Макаренко, сост. В.С. Елагин, Е.А. Аникевич. Санкт-Петербург, 2023. – С. 72-75.

14. Павлова Е.В. Стандартизация услуг в сфере здравоохранения посредством интеграции информационных систем медицинских и фармацевтических организаций в единую государственную информационную систему здравоохранения (ЕГИСЗ) // В сборнике: Власть, бизнес и общество в цифровой экономике: глобальный и национальный контексты. Сборник материалов I Международной научно-практической конференции. Ставрополь, 2022. – С. 45-46.

15. Павлова Е.В., Свистунов Л.О. Управление качеством и стандартизация цифровых услуг в сфере здравоохранения // Национальные концепции качества: техническое регулирование и стандартизация в развитии цифровой экономики: сборник материалов и докладов Национальной научно-практической конференции с международным участием. 4-5 октября 2021 г. Под ред. академика РАН, д-ра экон. наук, проф. В.В. Окрепилова, д-ра экон. наук, проф. Е.А. Горбашко. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2021. – С. 192-200.

ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОГО УРЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАДОЛЖЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ

К.Н. Ипатьев, к.э.н., Московский технический университет связи и информатики, knipatev@mail.ru.

УДК 336.7

Аннотация. В статье проанализирован новый продвигаемый со стороны Банка России, Службы финансового уполномоченного и банковского сообщества инструмент урегулирования ссудной задолженности – комплексное урегулирование и подтверждена актуальность предлагаемого механизма. В работе определены основные заинтересованные участники данного процесса, определены их цели. В статье рассмотрены отдельные вопросы, решение которых влияет на успешность реализации предлагаемого механизма, предложены варианты их решения, в т.ч. с учетом целей основных участников процесса.

Ключевые слова: комплексное урегулирование задолженности; Стандарт комплексного урегулирования; Банк России; Служба финансового уполномоченного; реструктуризация задолженности; закредитованность.

THE EXISTING ISSUES OF COMPREHENSIVE RETAIL DEBT SETTLEMENT

K.N. Ipatiev, Ph.D. in Economics, Moscow Technical University of Communications and Informatics.

Annotation. The article analyzes a new debt settlement tool promoted by the Bank of Russia, the Financial Commissioner's Service and the banking community – a comprehensive retail debt settlement, and confirms the relevance of the proposed mechanism. The main stakeholders and structures identified in the work, and their goals defined. At the end of the article, individual issues related to the implementation of the proposed mechanism are considered, and options for their solution proposed, taking into account the goals of the main participants in the process.

Keywords: comprehensive debt settlement; the Standard of Comprehensive Settlement; the Bank of Russia; the Financial Commissioner's Service; debt restructuring; debt overburden.

Введение

В апреле 2023 г. Банк России предложил банкам инструмент урегулирования задолженности физических лиц, попавших в трудную жизненную ситуацию, механизм которого закреплен в Стандарте защиты прав и интересов заемщиков – физических лиц при урегулировании [1]. В разработке документа участвовали также банковское сообщество, финансовый уполномоченный, Минфин России и другие заинтересованные структуры.

Данный инструмент предлагается использовать в ситуациях, когда у заемщика одновременно выполняются условия: во-первых, клиент имеет кредиты более чем в одном банке, во-вторых, заемщик столкнулся с трудной жизненной ситуацией. Предполагается, что банки добровольно будут взаимодействовать между собой и с общим клиентом с целью выработки решения, приемлемого для всех сторон.

Необходимость разработки такого инструмента стал ответом на рост закредитованности населения страны. Данная проблема создает вызовы для государства и ставит новые задачи перед регулятором банковской деятельности.

Ранее Банк России в своем докладе информировал [2], что количество заемщиков с тремя и более кредитами с начала 2022 г. по середину 2023 г. выросло на 2,5 млн (с 8,7 млн до 11,2 млн). При этом количество заемщиков с одним кредитом в целом сохраняется на постоянном уровне. На рис. 1 представлено распределение заемщиков и задолженности в зависимости от количества кредитов у заемщика [2].

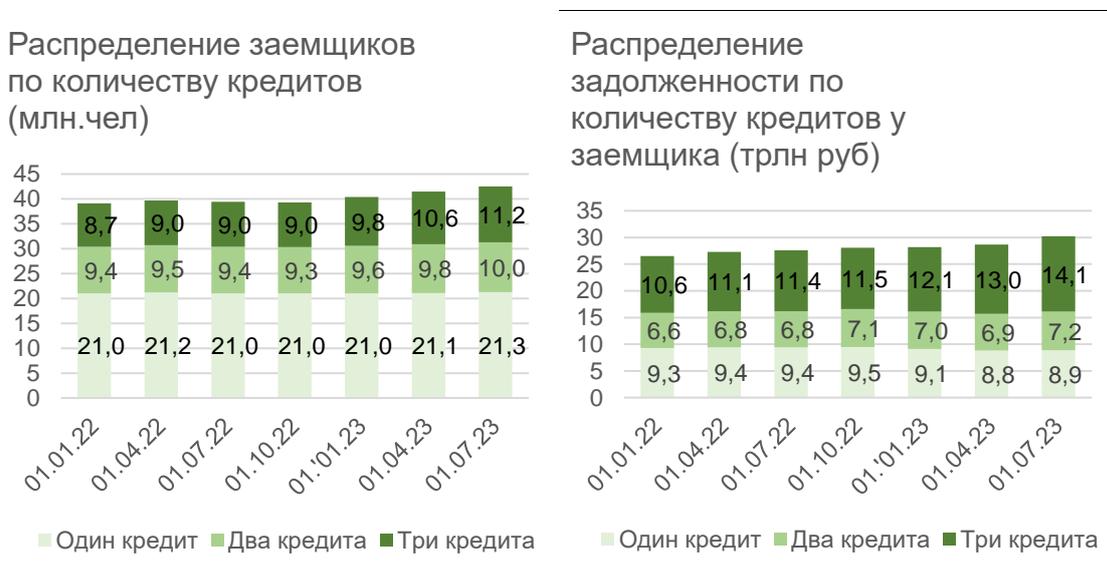
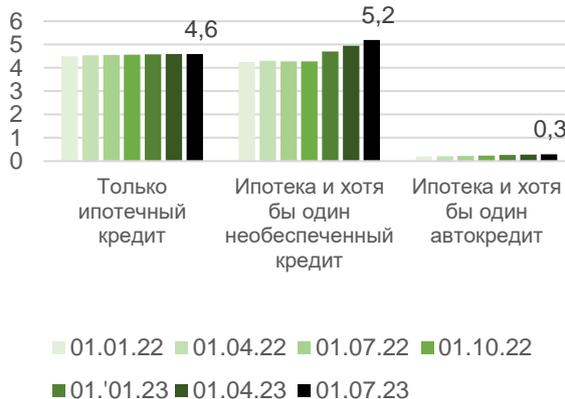


Рисунок 1

Также необходимо отметить рост сегмента заемщиков, у которых имеется ипотека и, хотя бы, один необеспеченный кредит. На рис. 2 представлено распределение ипотечных заемщиков и задолженности домохозяйств по типам кредитных продуктов [2].

Распределение числа ипотечных заемщиков по типам кредитных продуктов (млн чел)



Распределение задолженности домохозяйств по типам кредитных продуктов (трлн руб)



Рисунок 2

Растет и доля физических лиц, которые берут займы в микрофинансовых организациях. На рис. 3 представлено среднее количество займов и задолженность на заемщика [2].

Среднее количество займов на заемщика (ед.)



Средняя задолженность на заемщика (тыс.руб.)

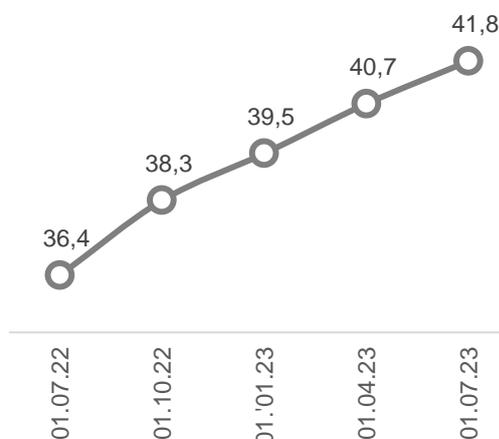


Рисунок 3

Естественно, все это ведет к росту закредитованности и в будущем может негативно влиять на устойчивость банковской системы.

Что с этим всем делает ЦБ? Пытается бороться. Например, благодаря ужесточению банковских лимитов на кредитование заемщиков с большой долговой нагрузкой, во II полугодии очень сильно выросла доля отказов по кредитным заявкам на необеспеченные потребительские кредиты [3]. Это проявилось в снижении темпов роста портфеля по необеспеченным ссудам. В табл. 1 представлен макропруденциальный лимит [5].

Таблица 1.

МПЛ		С 01.09.2023 повышены макронадбавки для кредитов с ПДН 50+				
%						
ПДН 50–80 (кредиты наличными)	-	-	-	30%	25%	
Кредитные карты	-	-	-	20%	10%	
ПДН 80+	25%	25%	20%	5%	5%	
Срок 5+ лет	10%	10%	5%	5%	5%	
		1к23	2к23	3к23	4к23	1к24

На рис. 4 показан прирост необеспеченных ссуд в 2023 г. [5].



¹ Значения на конец месяца. Данные за декабрь 2023 года предварительные и скорректированы на сделку по секьюритизации потребительских кредитов в размере 250 млрд рублей.

Источник: форма отчетности 0409115.

Рисунок 4

Но несмотря на это по результатам всего 2023 г. доля российских заемщиков, которые имеют пять и более активных кредитов, достигла 8,6% практически удвоившись в течение двух лет [4]. На рис. 5 представлена доля заемщиков в зависимости от числа активных кредитов, %.



Рисунок 5

С учетом того, что клиенты часто получают кредиты в разных кредитных организациях (например, кредитную карту в банке по зарплатному проекту, а ипотеку – у аккредитованного застройщиком банке), по «оценке сверху» доля заемщиков, имеющих кредиты в двух и более банках, может достигать половины всех заемщиков. Этот же сегмент имеет большие шансы выйти в дефолт. Соответственно доля заемщиков с кредитами в более чем одном банке в общей доле заемщиков с просроченной задолженностью еще выше.

Зачем нужен новый механизм урегулирования?

В ситуации, когда у заемщика все имеющиеся кредиты в одном банке, проблем действительно меньше (рис. 6). Единственный банк выдает кредиты заемщика в том объеме, пока чистые ежемесячные доходы (доходы за вычетом расходов) заемщика превышают ежемесячные платежи по кредитам (рис. 6 (a)). В случае возникновения финансовых трудностей у заемщика, банк проведя оценку ожидаемого будущего потока у клиента, меняет график платежей таким образом, чтобы клиент «выздоровел» и смог обслуживать долг (рис. 6 (b) и (c))¹.

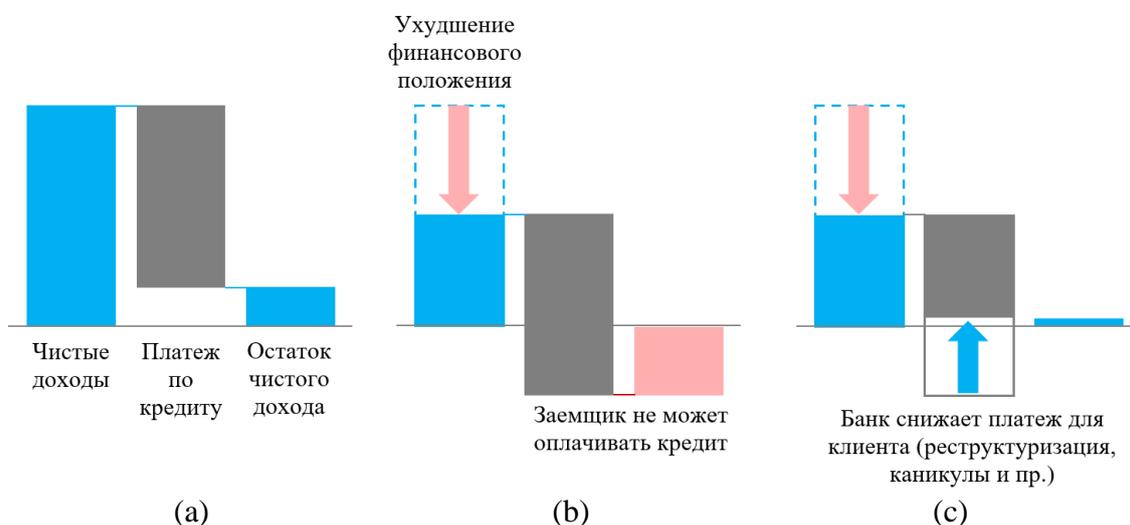


Рисунок 6

Таким образом, в рассматриваемой ситуации для банка неопределенностью является только ожидаемые будущие потоки заемщика.

Положение сильно усложняется, когда у заемщика не один кредитор, а два и более (рис. 7 (a)). При этом, чем больше кредиторов, тем условия геометрически сложнее. В случае ухудшения финансового положения заемщика (рис. 7 (b)), когда его чистого дохода уже не хватает на платежи по всем заемщикам, возможны два варианта:

1. Заемщик прекращает платить по всем кредитам.
2. Заемщик прекращает по «менее важным» кредитам, но продолжает платить по «важным».

¹ Банк является коммерческой организацией, и произведет пересмотр графика платежа исключительно в том случае, когда ожидаемый поток от клиента будет превышать поток от любых других видов урегулирования, в т.ч. в рамках судебного процесса. Отступление от этого правила – исключительные социальные ситуации, когда банк может пойти на встречу заемщику в трудной жизненной ситуации даже с убытком для себя.

- списание долга при уплате клиентом отступных;
- реализация заложенного по кредиту имущества или замена залога.

Предполагается, что, если заемщик нарушает условия комплексного урегулирования, кредиторы будут иметь право взыскать задолженность по ускоренному подходу – с использованием исполнительной надписи нотариуса.

8 ноября 2023 г. Президент Российской Федерации на заседании Правительства дал поручение правительству РФ совместно с Центробанком установить «единый обязательный порядок досудебного урегулирования споров между кредиторами и гражданами по кредитам и займам». Как сообщается на сайте Кремля, соответствующие изменения предлагается внести в российское законодательство [7].

Новый порядок планируется установить с учетом опыта применения стандарта комплексного урегулирования задолженности.

«Процедура также должна включать возможность установления запрета на удовлетворение требований кредиторов в период проведения процедуры урегулирования, обеспечивать возможность участия в процессе – на отдельных ее этапах – уполномоченного по правам потребителей финансовых услуг».

Заинтересованные стороны

Перед тем как описать имеющиеся по предлагаемому механизму урегулирования задолженности вопросы, мы должны определить основных заинтересованных сторон внедрения данного механизма. Это особенно важно с точки зрения теории стейкхолдеров, в соответствии с которой для достижения целей деятельности (в нашем случае реализация механизма) следует принимать во внимание разнообразные интересы различных заинтересованных сторон (стейкхолдеров), которые будут представлять некий тип неформальной коалиции. Между стейкхолдерами также могут существовать различные отношения, которые не всегда носят характер сотрудничества, совпадения интересов, а могут быть и конкурентными. Однако всех стейкхолдеров можно рассматривать как единое противоречивое целое, равнодействующая интересов частей которого будет определять траекторию развития организации. Такое целое называется «коалицией влияния» или «коалицией участников бизнеса» организации [8].

На рис. 8 указаны основные стейкхолдеры (участники) процесса.

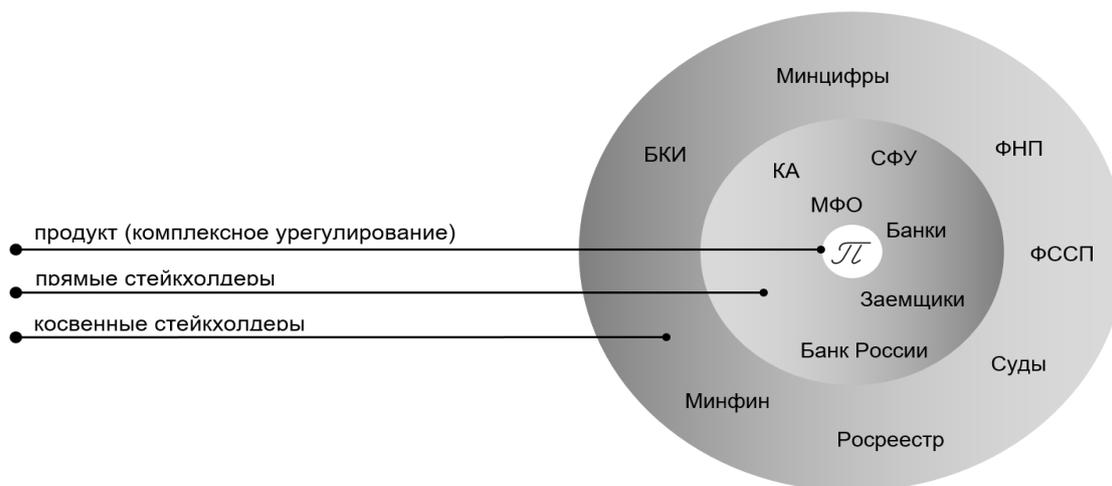


Рисунок 8

Определившись с заинтересованными лицами, следующим шагом опишем те цели, которые могут преследоваться ими в рамках рассматриваемого вопроса. В табл. 2 указаны цели заинтересованных сторон.

Таблица 2.

Стейкхолдер	Гипотетические цели
Клиент/ домохозяйства	Получить реструктуризацию, снизить платеж по кредиту, выйти с просрочки, улучшить кредитную историю, желательно бесплатно.
Банки	Снизить финальные потери, оздоровить клиента для повышения <i>LTV</i> («пожизненная ценность»), не остаться в проигрышной ситуации (когда он реструктурировал, а остальные кредиторы в то же время взыскивают задолженность в судебном порядке).
Коллекторские агентства (КА)	Повысить рентабельность вложенных средств (покупка по договору цессии проблемного портфеля).
Банк России	Развитие и укрепление банковской системы России.
Финансовый омбудсмен	Упрощение решений споров между кредитными организациями и заемщиками, уменьшение общественной напряженности, повышение защищенности заемщиков.
Судебная система	Снижение нагрузки на суды.
ФССП	Снижение нагрузки на службы приставов.
ФНП	Снижение нагрузки на нотариальную палату (исполнительная надпись нотариуса).
Росреестр	Снижение нагрузки (регистрация недвижимости).
БКИ	Монетизация новой услуги (кредитная история заемщиков).
Минцифры	Оказание госуслуг в сфере информационных технологий (ИТ) в части использования ИТ для формирования государственных информационных ресурсов и предоставление доступа к ним.
Правительство РФ	Осуществление социально ориентированной государственной политики.

Отдельные вопросы комплексного урегулирования

Остановимся более подробно на следующих вопросах.

А. Какой формат взаимодействия основных участников процесса выбрать?

Вопрос интеграционный, вариантов осуществления взаимодействия может быть много, но перечислим основные (рис. 9):

- a. Интеграция каждого банка со всеми остальными.
- b. Несколько узлов.
- c. Один узел, с которым интегрируются все банки.

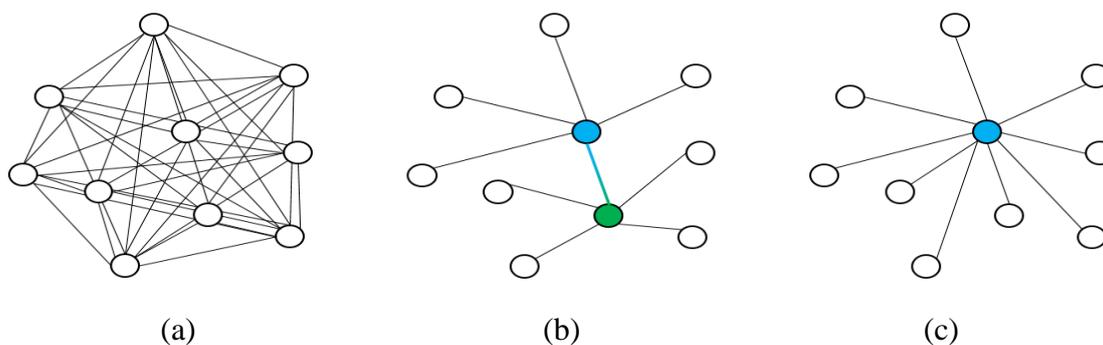


Рисунок 9

Вариант (а), очевидно, наиболее дорогой. Данный вид взаимодействий по своей форме является полным графом, соответственно для его реализации для случая n банков необходимо осуществить $\frac{n \cdot (n-1)}{2}$ интеграций [9]. Напротив, для случая с одним узлом (вариант (с), «граф-звезда» [10]) количество интеграций составляет всего $n - 1$, что меньше в $\frac{n}{2}$ раза. Для понимания, в России более 300 банков, соответственно, вариант интеграции (с) будет дешевле $300 / 2 = 150$ раз (!). Если включить в этот список микрофинансовые организации (более 1200), разница в стоимости будет еще более колоссальной.

В. Кто должен находиться в центре узла?

Определились, что наиболее оптимальной структурой взаимодействия банков является форма граф-звезда. Но кто должен являться связующей вершиной в данной конструкции? Возможные варианты:

- Один из банков.
- Бюро кредитных историй.
- Минцифры (например, на базе «Госуслуг»).
- Служба финансового уполномоченного.
- Банк России.

В табл. 3 перечислены преимущества и недостатки кандидатов на роль связующего узла.

Таблица 3.

Вариант	Преимущества	Недостатки
Один из банков	<ul style="list-style-type: none"> • Наибольшая компетенция в существующих банковских инструментах урегулирования. • Более быстрая реализации продукта. 	<ul style="list-style-type: none"> • Скорее всего будет не бесплатным продуктом для остальных банков. • Преимущественное положение данного банка относительно других. • Вопросы законодательного характера (в т.ч. ФЗ «о персональных данных», «банковской тайны», получения данных из ЦККИ и т.д. • Банк может находится под санкциями, либо в будущем попасть под нее.

Вариант	Преимущества	Недостатки
Бюро кредитных историй	<ul style="list-style-type: none"> • Уже имеет доступ к кредитной истории заемщиков (не нужно выстраивать дополнительную интеграцию с самим собой). • Уже имеет интеграцию со всеми банками. 	<ul style="list-style-type: none"> • Скорее всего будет не бесплатным продуктом для остальных банков. • Вопросы законодательного характера (в т.ч. ФЗ «о персональных данных» [11], «банковской тайны» [12], получения данных из центрального каталога кредитных истории и т.д.
Минцифры РФ	<ul style="list-style-type: none"> • Большинство кредитных организаций уже получают или рассматривают ЕПГУ как один из каналов взаимодействия со своими клиентами. 	<ul style="list-style-type: none"> • Наименьшая компетенция в вопросах урегулирования задолженности.
Служба финансового уполномоченного в России	<ul style="list-style-type: none"> • Наиболее заинтересованная в урегулировании задолженности заемщиков сторона. 	<ul style="list-style-type: none"> • Низкая скорость реализации. • Только досудебное урегулирование.

Таким образом, нельзя однозначно утверждать, какой из вариантов является наиболее предпочтительным – каждый имеет как весомые плюсы, так и существенные минусы.

При этом наиболее плодотворным видится решение на основе кооперации всех заинтересованных сторон и во главе угла должны стоять скорость реализации, удобство и клиентоориентированность. Одной из возможных форм такой реализации может быть независимое *back-end* решение, с которым будут интегрироваться все заинтересованные стороны, и клиент может подать заявку на комплексное обслуживание через личный кабинет в ЕПГУ, из банковского приложения своего кредитора или личного кабинета БКИ (по сути, будут являться *front-end* частью решения). Далее *back-end* на автоматической основе уточняет всех остальных кредиторов данного заемщика и направляет на их адрес заявку от заемщика.

С. Механизм принятия решения

Допустим мы определились с форматом взаимодействия в рамках комплексного урегулирования заемщика со всеми кредиторами и всех кредиторов между собой. Заемщик отправил через *front-end* приложение заявку, *back-end* обработал заявку и перенаправил ее всем кредиторам. Что дальше? Как кредиторам договориться между собой? Обязаны ли они договориться или механизм должен иметь добровольный характер? Очевидно, что если обязаны, то механизм в целом будет похож на инструмент кредитных каникул [13], и сложностей принятия решений нет. На рис. 10 представлена зависимость уровня одобрения от уровня урегулирования.



Рисунок 10

Но Банк России в своем стандарте уже указал, что механизм должен иметь добровольный характер. Соответственно необходимо выбрать вариант коллективного решения.

Одной из проблем большинства методов коллективного решения заключается в их манипулируемости. При этом, как показал в своей работе Кэннет Эрроу, единственной разумной процедурой принятия решения является диктаторская процедура [14]. Таким образом, практически любая другая конструкция принятия коллективного решения, в т.ч. перечисляемые ниже (табл. 4), являются манипулируемыми.

Таблица 4.

Вариант	Плюсы	Минусы
Принцип диктатора – за основу берётся мнение крупнейшего кредитора.	Не манипулируемый метод принятия коллективного решения.	По сути, не отличается от строго регулируемого подхода (см. «кредитные каникулы») – диктатор будет выполнять функции регулятора. Крупнейший кредитор может отсутствовать (у заемщика много небольших кредитов).
Принцип простого большинства (выбирается то решение, в пользу которого выскажется больше половины принимающих участие в процедуре, т.е. решение принимается $N / 2 + 1$ голосами (N – число голосующих)).		Манипулируемый метод принятия коллективного решения. Крупнейший кредитор, в случае выбора не удовлетворяющего его решения, может отказаться от урегулирования. Решение может быть не достигнуто.
Правило относительного большинства (для победы кандидату необходимо собрать голосов больше, чем любому из его соперников).	Достижимое решение.	Манипулируемый метод принятия коллективного решения. Победу может одержать кредитор с относительно небольшой относительно общей суммой задолженности суммой кредита.

Вариант	Плюсы	Минусы
Единогласное решение.	Наиболее рациональное с точки зрения удовлетворения максимального количества субъектов решение.	Манипулируемый метод принятия коллективного решения. Высокий риск не выработки решения. Большой риск того, что выработанное решение не удовлетворит заемщика, а ни один другой вариант из Парето-эффективного множества решений не сможет получить единогласного одобрения при сопоставлении с первоначальным вариантом.
Правила Борда (каждый из кредиторов предлагает решение, далее каждое решение ранжируется каждым кредитором от лучшего до худшего варианта. Решение не получает очки за последнее место, получает одно очко за предпоследнее место и так далее, получает $p-1$ очков за первое место. Побеждает вариант с наибольшей суммой очков.	Независимость от отвергнутых альтернатив [15].	Манипулируемый метод принятия коллективного решения. Более высокая сложность.

Вариантов голосования существует большое количество, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. При выборе любого из вариантов, в первую очередь, необходимо решить проблему манипулируемости результатом. Можно комбинировать варианты, например, единогласное решение плюс диктатор, где в роли диктатора может выступать независимая структура, например, Служба финансового уполномоченного, который подключается, когда нет единогласного решения, либо единогласное решение не подходит заемщику.

Заключение

Предложенный механизм комплексного урегулирования является своевременным решением и действительно может существенно улучшить клиентские пути в кредитовании. При этом существует ряд вопросов, по которым заинтересованные стороны данного процесса, включая банковское сообщество, финансового уполномоченного, Банк России, должны принять совместное решение, наиболее рациональное решение, которое, максимально удовлетворит всех участников кредитного процесса.

Литература

1. Информационное письмо Банка России от 24.04.2023 N ИН-03-59/31 «О Стандарте защиты прав и интересов заемщиков – физических лиц при урегулировании задолженности по кредитным договорам, заключенным в целях, не связанных с осуществлением предпринимательской деятельности». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_445385/

2. Банк России: официальный сайт. – Москва. «Анализ тенденций в сегменте розничного кредитования на основе данных бюро кредитных историй» за первое полугодие 2023 года. – URL: https://www.cbr.ru/Collection/Collection/File/46543/inf-material_bki_2023fh.pdf
3. «Банки резко увеличили долю отказов клиентам по потребкредитам. Только каждый пятый получил одобрение займа». РБК. – Москва. – URL: <https://www.rbc.ru/finances/20/10/2023/653131539a7947e324b53944>
4. «Доля россиян с пятью и более кредитами почти удвоилась за два года. С чем это связано и какие риски несет». РБК. – Москва. – URL: <https://www.rbc.ru/finances/01/02/2024/65ba3d729a79474f249e1006>
5. Банк России: официальный сайт. – Москва. О развитии банковского сектора Российской Федерации в декабре 2023 года. – URL: https://cbr.ru/Collection/Collection/File/47805/razv_bs_23_12.pdf
6. Банк России: официальный сайт. – Москва. Решение Совета директоров Банка России об установлении макропруденциальных лимитов в отношении отдельных видов потребительских кредитов (займов) и числовых значений характеристик кредитов (займов), в зависимости от которых дифференцируются макропруденциальные лимиты, 31.08.2023. – URL: https://www.cbr.ru/about_br/dir/rtd_2023-08-31_35_01/
7. URL: <https://www.kremlin.ru/events/president/news/72692>
8. Зуб А.Т. Стратегический менеджмент: теория и практика. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 415 с. – ISBN 5-7567-0164-8.
9. Карпов Д.В. Теория графов – Москва: МЦНМО, 2022. – 560 с. – ISBN 978-5-4439-1690-3.
10. Евстигнеев В.А., Касьянов В.Н. Словарь по графам в информатике. – Новосибирск. – (Конструирование и оптимизация программ). – ISBN 978-591124-036-3.
11. Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006 N 152-ФЗ.
12. Федеральный закон от 02.12.1990 N 395-1 (ред. от 12.12.2023) «О банках и банковской деятельности».
13. Статья 6 Федерального закона от 03.04.2020 г. № 106-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О Центральном банке РФ (Банке России)» и отдельные законодательные акты РФ в части особенностей изменения условий кредитного договора, договора займа».
14. Эрроу К. Дж. Коллективный выбор и индивидуальные ценности. – М.: ГУ ВШЭ, 2004. – 204 с.
15. Muller D. Public Choice III. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ЭВОЛЮЦИИ ИКТ И ИХ ИНТЕГРАЦИИ В БИЗНЕС

О.И. Шаравова, к.э.н., доцент, Московский технический университет связи и информатики, o.i.sharavova@mtuci.ru;
А.А. Вольнов, Московский технический университет связи и информатики, andrew.volnow2011@yandex.ru;
А.Д. Кузовков, Московский технический университет связи и информатики, alexkuzovkov@mail.ru.

Аннотация. В статье приводятся результаты анализа закономерностей и этапов развития цифровой экономики, характера интеграции ИКТ в традиционные экономические процессы и практические результаты цифровой трансформации бизнеса. На основе исторического подхода с учетом достигнутого уровня научно-технического прогресса к выявлению трендов развития компонентов ИКТ обосновываются характер их эволюции и социально-экономические последствия применения ИКТ, источники и факторы проявления инфокоммуникационного характера цифрового развития экономики. На основе интегрально-экспертного метода и комплекса показателей социально-экономической эффективности ИКТ дается их количественная оценка, подтверждающая вывод о необходимости регулирования цифрового развития экономики и общества с учетом инфокоммуникационного характера и конвергентных процессов.

Ключевые слова: цифровая экономика; инфокоммуникационные технологии; инфокоммуникационный характер развития; факторы; компоненты; социально-экономические последствия.

ASSESSMENT OF THE SOCIO-ECONOMIC CONSEQUENCES OF THE EVOLUTION OF ICT AND THEIR INTEGRATION INTO BUSINESS

O.I. Sharavova, Ph. D. in Economics, associate Professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics;

A.A. Volnov, Moscow Technical University of Communications and Informatics;

A.D. Kuzovkov, Moscow Technical University of Communications and Informatics.

Annotation. The article presents the results of an analysis of the patterns and stages of the development of the digital economy, the nature of the integration of *ICT* into traditional economic processes and the practical results of digital business transformation. Based on the historical approach, taking into account the achieved level of scientific and technological progress to identify trends in the development of *ICT* components, the nature of their evolution and socio-economic consequences of the use of *ICT*, sources and factors of the infocommunication nature of digital economic development are substantiated. Based on the integrated expert method and a set of indicators of socio-economic efficiency of *ICT*, their quantitative assessment is given, confirming the conclusion that it is necessary to regulate the digital development of the economy and society, taking into account the infocommunication nature and convergent processes.

Keywords: digital economy; infocommunication technologies; infocommunication nature of development; factors; components; socio-economic consequences.

Введение

Цифровая экономика на современном этапе представляет собой, прежде всего, экономическую деятельность, основанную на таких новых ключевых факторах производства и потребления как знания и информация в цифровой форме, цифровые технологии и сети интернет. Кроме того, цифровая экономика олицетворяет фундаментальные изменения в способах создания, распределения и потребления товаров и услуг на основе глубокого проникновения инфокоммуникационных технологий (ИКТ) и цифровых процессов во все сферы бизнеса и жизнедеятельности, т.е. ИКТ являются двигателем научно-технического и социального прогресса, определяя новые направления развития для бизнеса и общества в целом [1-5].

Отличительной чертой и причиной динамичности развития и способности к быстрой адаптации цифровой экономики является ее инфокоммуникационный характер, связанный с конвергенцией связи и информатики, последующими конвергентными процессами систем, сетей, отраслей, а также действием информационно-экономического закона [6]. Данные источники развития связи и цифровых технологий обеспечивают новые возможности для роста экономики в национальном и глобальном пространстве.

Такие компоненты цифровой экономики, как электронная коммерция, цифровое предпринимательство, облачные вычисления, большие данные (БД), искусственный интеллект (ИИ), интернет вещей, мобильные технологии в совокупности определяют не только ее многообразие и сложность, но и организационно-технологическую способность трансформировать бизнес-модели, производственные процессы, формировать сетевые структуры, платформы и экосистемы, повышать эффективность управления и создавать новые рынки [6].

В статье используется один из наиболее результативных подходов к выявлению кардинальных изменений экономики и общества – исторический. Исторический обзор развития цифровой экономики, ее ключевых факторов и компонентов позволяет получить научно обоснованный вывод о роли и взаимосвязи информационных технологий (ИТ) и инфокоммуникационных технологий (ИКТ) [1, 2, 7, 8]. Понимание эволюции и конвергенции компонентов ИКТ, раскрытие инфокоммуникационного характера цифровой экономики, помогает сформировать научно-методические основы комплексной оценки эффективности применения ИКТ с учетом их технологической эволюции и экономической интеграции бизнеса на основе интегрально-экспертного метода [9-11].

Закономерности и этапы развития цифровой экономики и эволюции ИКТ

Для оценки масштабов изменений в экономическом ландшафте за последние десятилетия рассмотрим первые этапы и источники зарождения концепции цифровой экономики (табл. 1). Каждый из этапов сыграл кардинальную роль в формировании современной экономики. С начала использования простых вычислительных машин до внедрения сложных цифровых экосистем, цифровая экономика продолжает эволюционировать, преобразуя технологии, принципы и способы производства и потребления товаров и услуг, взаимодействия хозяйствующих субъектов, создания платформенно-сетевых моделей бизнеса и дополнительной экономической стоимости (цифровые дивиденды) [3, 4].

Таблица 1.

Этап и период времени	Технологии, способы, принципы	Области применения	Эффект
1. Семидесятые годы XX века	Компьютерные технологии	Бизнес и управление	Рост скорости операций и обработки больших объемов данных
2. Восемидесятые годы XX века	Персональные компьютеры	Развитие отраслей	Доступность вычислений
3. Девяностые годы XX века	Создание и распространение сети интернет	Электронная коммерция	Глобализация информации, международный бизнес
4. Начало XXI века	Развитие электронной коммерции	Электронные рынки и платформы	Новые формы продаж товаров и услуг, рост

Этап и период времени	Технологии, способы, принципы	Области применения	Эффект
			потенциала он-лайн торговли
5. Двадцатые годы XXI века	Мобильный доступ к онлайн-услугам	Мобильный бизнес	Рост масштабов бизнеса
6. Тридцатые годы XXI века	Облачные технологии, социальные сети	Цифровые услуги и сервисы	Новое качество экономики, управления, образования, медицины

Появление ПК радикально изменило подход к вычислениям и доступности для широкой аудитории, сети интернет привели к глобализации информации и бизнеса, упрощению коммуникаций, новым возможностям в электронной коммерции с новыми формами продажи товаров и услуг, открытием множества электронных рынков и платформ. Это способствовало развитию отраслей экономики и социума, международного бизнеса.

Развитие мобильной связи, появление смартфонов и планшетов открыло новые горизонты для бизнеса и потребителей с возможностью доступа к информации и онлайн-услугам в любое время и в любом месте, что способствовало стремительному развитию цифровых сервисов, новых форм экономической активности и интеллектуализации рабочих мест. Таким образом, систематизация технологий, способов, принципов, областей и эффектов применения ИКТ четко указывает на инфокоммуникационный характер развития цифровой экономики.

Для процесса эволюции ИТ характерен быстрый переход от примитивных вычислительных машин (ВМ) до сложных цифровых систем. Еще в начале XX века ИТ были представлены механическими и электромеханическими ВМ, но с 40-х годов началась эра электронных компьютеров. Такие огромные устройства, как *ENIAC* и *UNIVAC*, были ограничены в возможностях, но заложили основу для будущего развития ИТ на основе персональных компьютеров (ПК), лидерами в производстве которых стали компании *Apple*, *IBM* и *Microsoft* [3, 8]. ПК стали мощными инструментами индивидуального и корпоративного использования компьютеров. С появлением сети интернет и всемирной паутины (*www*), разработанной Тимом Бернерс-Ли, радикально изменился способ обмена информацией и коммуникаций, что привело к созданию новых индустрий, онлайн-средств массовой информации и социальных сетей [1-4, 12, 13].

Новым двигателем прогресса в области вычислительных средств стали мобильные технологии связи и широкополосный доступ к интернет и цифровым услугам в любом месте и в любое время, а смартфоны и планшеты кардинально изменили повседневную жизнь и бизнес-процессы. Такие технологии как БД, облачные вычисления и ИИ создают новые возможности ИТ для анализа больших объемов данных, обеспечения гибкости и масштабируемости ресурсов, автоматизации и оптимизации различных процессов, в конечном итоге – прогрессивное экономическое и социальное мировое развитие.

Таким образом, ИТ развиваются в неразрывной связи с телекоммуникациями, их конвергенция способствует обогащению и взаимопроникновению двух компонентов цифровой экономики друг в друга, что требует объединения терминов в ИКТ. Под ИКТ понимают технологии обработки, хранения и передачи информации, включающие в себя компьютерные системы, интернет, в том числе интернет вещей, оборудование, стандарты, технологии связи, цифровые устройства и приложения (рис. 1).

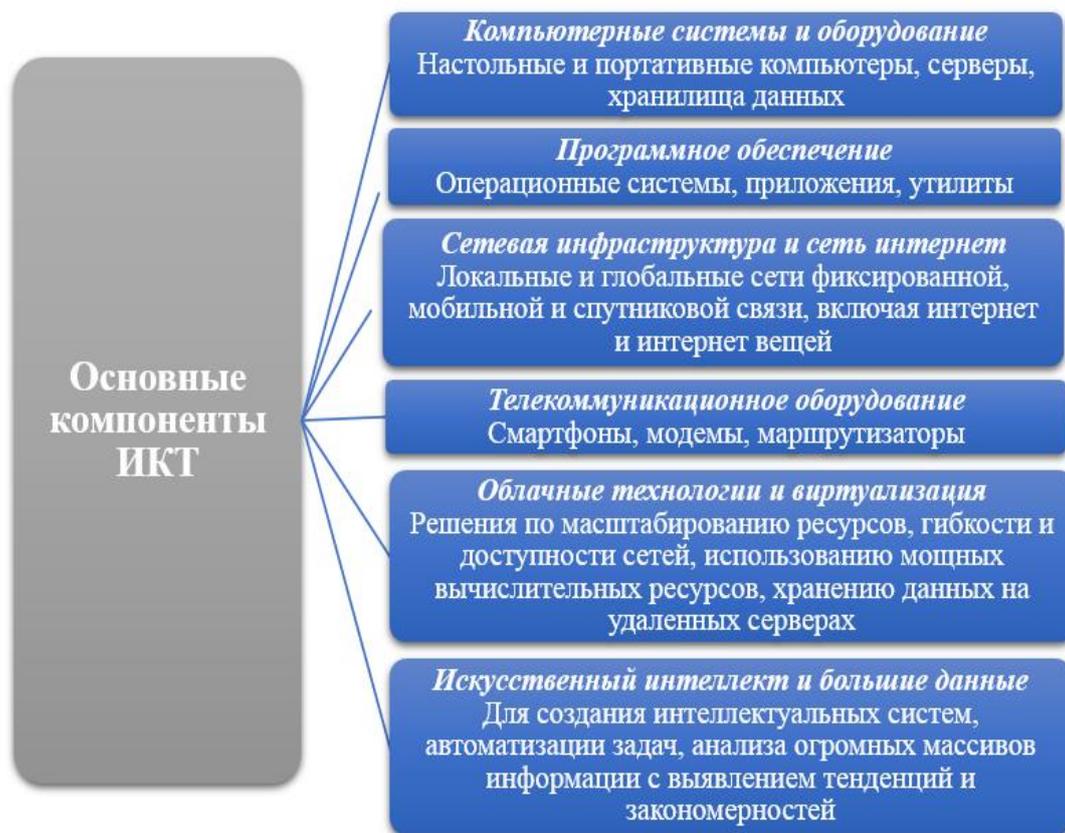


Рисунок 1

Цель ИКТ состоит в обеспечении эффективного доступа, хранения, передачи и обработки данных [1, 2]. Основой ИКТ являются компьютерные системы для программного обеспечения (ПО) выполнения вычислений, обработки больших объемов данных, централизованного хранения. ПО выполняет задачи от текстового редактирования до сложных аналитических инструментов, обеспечивает интерфейс между пользователем и аппаратным обеспечением. Сетевая инфраструктура дает возможность передачи данных между устройствами и системами, доступа к онлайн-ресурсам и сервисам.

Облачные технологии и виртуализация позволяют масштабировать ресурсы, улучшать доступность и гибкость систем, использовать мощные вычислительные ресурсы и хранить данные на удаленных серверах, доступ к которым возможен через интернет. ИИ и технологии обработки БД используются для анализа огромных массивов данных, выявления тенденций и закономерностей явлений и процессов, автоматизации задач, создания интеллектуальных систем [2, 3, 11, 14].

Проникая во все сферы экономики и социума, ИКТ выполняют каталитическую роль фундаментальных изменений во всех аспектах. Способность ИКТ значительно повысить эффективность бизнес-операций и коммуникаций позволяет компаниям автоматизировать процессы, оптимизировать управление ресурсами и повышать эффективность их использования, снижать издержки производства и ускорять инновационные процессы, улучшать взаимодействие с клиентами и качество продуктов и услуг. Цифровые платформы и электронная коммерция открывают новые рынки для предприятий, позволяя им достигать глобальной аудитории с минимальными дополнительными затратами, тем самым стимулируют трансграничную торговлю и глобализацию.

Важность ИКТ также заключается в их влиянии на социальные аспекты экономики. Обеспечивая большую доступность информации и знаний, ИКТ оказывают сильное воздействие на все аспекты жизнедеятельности людей, их образование и саморазвитие, а также способствуют включению населения в процесс производства и потребления посредством обратной связи с производителями и доступа к образовательным, финансовым и государственным услугам. По сути, ИКТ становятся незаменимой частью экономической и социальной структуры современного мира и инновационным средством прогрессивного экономического и социального развития. Однако их распространение сопровождается определенными рисками на рынке труда, в области безопасности, конфиденциальности, цифрового неравенства, что предусматривает необходимость комплексности оценки их эффективности и соблюдения опережающего роста инфокоммуникационной инфраструктуры по сравнению с экономическим ростом страны [1, 6].

Интеграция ИКТ в традиционные экономические процессы

Интеграция ИКТ в традиционные экономические процессы оказывает существенное влияние на бизнес-ландшафт посредством преобразования способов производства, управления, распределения и потребления товаров и услуг, создания новых возможностей для роста и инноваций (рис. 2).



Рисунок 2

Современные системы управления на основе данных (*Data-Driven Management*) и ИИ, планирования ресурсов (*ERP*), управления отношениями с поставщиками (*SRM*) позволяют оптимизировать процессы производства, логистики и взаимодействия с поставщиками, сокращать издержки и повышать качество продукции, осуществлять массовую персонализацию и гибкую настройку

производства под индивидуальные потребности клиентов. Финтех-решения (электронные платежи, мобильные финансы, блокчейн) трансформируют традиционные финансовые сервисы.

Автоматизация *HR*-процессов на основе электронного обучения и онлайн-платформ для профессионального развития обеспечивает гибкое и эффективное повышение квалификации сотрудников. Цифровизация маркетинга позволяет более точно и эффективно управлять целевой аудиторией, открывать новые рынки, а системы управления отношениями с клиентами (*CRM*), автоматизированные сервисы и чат-боты – повышать степень взаимодействия с ними и качество обслуживания.

Обладая универсальностью использования и способностью к трансформации бизнес-моделей ИКТ продолжают оставаться двигателем прогресса во многих сферах деятельности, постоянно расширяя границы возможного (рис. 3).

Возможности компаний по быстрой адаптации к изменениям рынка, расширению деятельности и внедрению новых бизнес-моделей без значительных затрат на производственную инфраструктуру обеспечивают им гибкость и масштабируемость бизнеса. Интеграция и автоматизация множества бизнес-процессов от производства до клиентского сервиса на основе ИКТ повышает эффективность, снижает издержки и улучшает качество обслуживания клиентов, открывает новые каналы для генерации доходов на основе анализа данных, прогнозирования спроса и предложения, аналитических услуг и персонализированных решений (подписки, фриимиум-модели, цифровые сервисы) [15-17].



Рисунок 3

Цифровые каналы (социальные сети, мобильные приложения, чат-боты) обеспечивают непрерывность и персонализацию взаимодействия с клиентами, что способствует повышению удовлетворенности клиентов и лояльности к бренду. Трансформация бизнес-процессов на основе электронных документов, удаленной работы и оптимизированных логистических систем способствует устойчивому развитию, сокращению потребления природных ресурсов и уменьшению экологического следа компаний (углеродные выбросы и экологический ущерб).

В то же время цифровое развитие данных сопровождается определенными рисками, связанными со сбором и обработкой огромного массива данных, и угрозами экономической и информационной (киберугрозы) безопасности, что требует обеспечения защиты и конфиденциальности данных, разработки правил, нормативов и стандартов. Использование облачных сервисов и внешних поставщиков для хранения и обработки данных представляет собой дополнительный риск [18, 19]. Для поиска баланса между внедрением инновационных технологий и обеспечением безопасности данных требуются значительные ресурсы и специализированные знания, постоянные мониторинг и адаптация к новым угрозам и технологиям [17, 20].

Социально-экономические последствия развития ИКТ и их эффективность

Перспективы и тенденции развития основных инфокоммуникационных технологий ИКТ, представленные на рис. 4, принесут в ближайшие годы еще более значительные изменения в экономику, социальную сферу, открывая новые возможности для инноваций, трансформации производства и потребления, улучшения качества жизни и решения глобальных проблем, включая экологические.

Интегрированность ИИ в повседневные процессы и бизнес-системы означает переход от автоматизации рутинных задач до разработки продвинутых аналитических систем. Развитие интернета вещей с включением все большего числа устройств и систем приведет к созданию более умных и подключенных домов, городов, производственных систем, обеспечивая более высокую степень автоматизации и сбора данных для анализа.

Квантовые вычисления вызовут революцию в области обработки данных и откроют новые горизонты криптографии, исследования материалов и разработки лекарств. Развертывание сетей 5G и 6G значительно увеличит скорость и качество связи, объемы передачи информации, что позволит реализовывать новые технологии и интернет-сервисы [10-12]. Облачные технологии, предоставляя более гибкие, масштабируемые и экономически эффективные решения для хранения и обработки данных, позволят даже небольшим компаниям использовать передовые технологии, которые ранее были доступны только крупным корпорациям.

С увеличением количества подключенных устройств и улучшением технологий сбора данных, объемы *Big Data* продолжают расти, что создаст новые возможности для анализа данных и получения ценных инсайтов, но также предъявит повышенные требования к обработке и защите данных, решению вопросов кибербезопасности и предотвращения кибератак. Кроме того, будет уделяться больше внимания гармоничному развитию, включая разработку энергосберегающих и эффективных технологий и систем, которые минимизируют экологический ущерб. Это станет ключевым направлением в развитии ИКТ [13-16].



Рисунок 4

Сеть интернет и мобильные технологии окажут еще более радикальное влияние на экономику, бизнес-модели и повседневную жизнь людей, создавая новые экономические пути и социальные взаимодействия (рис. 5).



Рисунок 5

Не меньше значение БД и предиктивной аналитики, которые обеспечивают информационную и инструментальную основу принятия эффективных решений, стратегических инновационных планов развития (рис. 6).

Данные становятся ценным активом и новым «сырьем» экономики, а аналитика – инструментом для извлечения систематизированных и структурированных знаний о производстве и потреблении, клиентах и партнерах, углубленного понимания рынков и бизнес-процессов, экономических и цифровых рисков [17-19]. Проведенная систематизация ключевых драйверов применения ИКТ демонстрирует их трансформирующую роль в модели новой экономики данных на основе персонализации потребностей [16].

Интегрально-экспертный метод комплексного измерения эффективности проектов за последние годы нашел широкое применения для измерения эффективности ИКТ, цифровых платформ, экосистем по комплексу социально-экономических и проявлений эффектов и барьеров [2, 5, 7, 9-11, 21]. Модель интегрально-экспертной оценки социально-экономической эффективности применения ИКТ имеет иерархическую систему параметров, включающих интегральный коэффициент, обобщающие и частные показатели, отражающие результативные (положительные) и затратные (отрицательные) проявления эффектов и барьеров [21]. Универсальность разработанной авторами статьи методики состоит в применении алгоритма к любым объектам и индивидуальности системы частных показателей конкретной ИКТ.

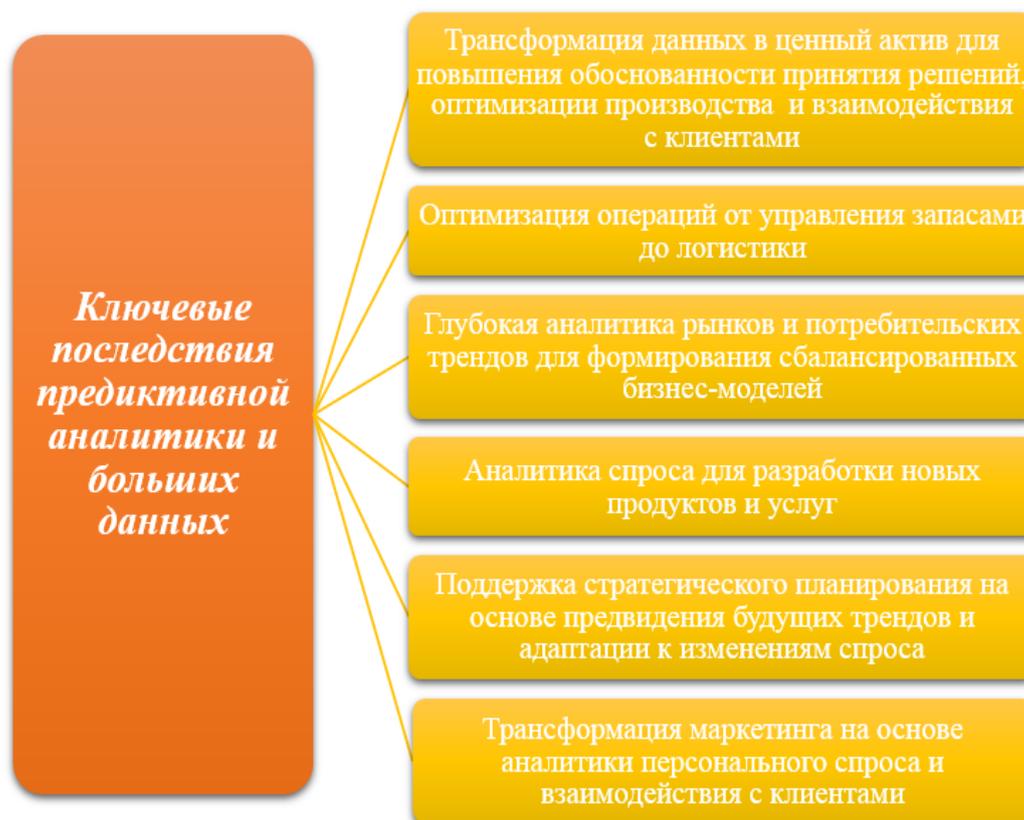


Рисунок 6

Обобщенные результаты сравнения параметров эффективности ИКТ в бизнесе инфокоммуникационных компаний за 2016 г., 2020 г. [21] и 2024 г. (табл. 2) показывают значительный каталитический эффект эволюции развития и применения ИКТ в экономической деятельности.

Таблица 2.

Наименование показателей	Эффективность ИКТ (в баллах)			Темп изменения за 2016-2024 гг., %
	2016 г.	2020 г.	2024 г. (прогноз)	
1. Обобщающий результативный показатель экономической эффективности (положительный эффект)	2,79	3,76	4,82	172,8
2. Обобщающий результативный показатель социальной эффективности (положительный эффект)	2,25	4,12	4,64	200,6
Результативный интегральный показатель эффективности ИКТ	2,34	3,87	4,53	193,6
3. Обобщающий затратный показатель экономической эффективности (отрицательный эффект)	3,07	2,73	2,48	80,9
4. Обобщающий затратный показатель социальной эффективности (отрицательный эффект)	3,01	2,56	2,22	73,8
Затратный интегральный показатель эффективности ИКТ	3,20	2,67	2,35	73,4
Коэффициент интегральной эффективности применения ИКТ (отн. ед.)	0,73	1,46	1,93	2,64

Интегральный коэффициент эффективности ИКТ за восемь лет вырос в 2,64 раза и демонстрирует существенное превышение положительных результативных эффектов над отрицательными затратными за счет освоения новых технологий, расширения продуктового портфеля, оптимизации организации и управления процессами производства и взаимодействия с клиентами и партнерами.

Заключение

Для цифровой трансформации бизнес-моделей и радикального изменения способов создания ценности в различных отраслях требуется не только внедрение ИКТ, но и переосмысление бизнес-практик и стратегий. Цифровая трансформация начинается с перехода от традиционных бизнес-моделей, основанных на физических процессах и продуктах, к моделям, использующим цифровые технологии для автоматизации производства, информационные ресурсы и клиентские данные (поведение, предпочтения, возможности) для персонализации товаров/услуг, онлайн-сервисов и цифрового взаимодействия с клиентами.

ИКТ обеспечивают технологический фундамент для современной экономики, повышая эффективность бизнес-процессов, улучшая коммуникации и открывая новые возможности для инновационного развития. ИКТ представляют собой динамично развивающуюся область, постоянно адаптирующуюся к меняющимся условиям и внося новые дайверы в производство и потребление, формирование цифровых навыков и компетенций. Поэтому процесс создания новых способов ведения бизнеса в цифровой среде предусматривает гибкость, адаптивность и ориентацию ИКТ на сбалансированное гармоничное развитие экономики и общества и, как следствие, глубокое понимание и технологических тенденций, и изменений в потребительском поведении, и рыночной динамике [2, 5, 7, 10, 11, 15-17, 20, 21].

Литература

1. Кузовкова Т.А., Тимошенко Л.С. Анализ и прогнозирование развития инфокоммуникаций. 2-ое изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия-Телеком, 2016. – 174 с.
2. Кузовкова Т.А., Кузовков Д.В., Кузовков А.Д., Шаравова О.И. Синергетический характер эффективности развития инфокоммуникационной инфраструктуры в условиях цифровой экономики // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция, 2020. – № 1. – С. 116-123.
3. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И. Основы цифровой экономики: учебное пособие для бакалавров. – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 128 с.
4. Сергеев Л.И. Цифровая экономика: учебник для вузов / Л.И. Сергеев, Д.Л. Сергеев, А.Л. Юданова; под редакцией Л.И. Сергеева. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 437 с.
5. Кузовкова Т.А., Ткаченко Д.Н., Кузовков А.Д. Информационно-аналитические основы регулирования цифрового развития на основе моделирования и измерения эффективности ИКТ // Электронный научный журнал «Век качества», 2020. – № 2. – С. 176-197.
6. Варакин Л.Е. Информационно-экономический закон. Взаимосвязь инфокоммуникационной инфраструктуры и экономики. – М.: МАС, 2006. – 106 с.
7. T.A. Kuzovkova, A.D. Kuzovkov, O.I. Sharavova and M.M. Sharavova. «Methods of Studying the Process and Synergy of the Effectiveness of Digital Business Transformation», 2023 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), Vienna, Austria, 2023, pp. 1-7, doi: 10.1109/EMCTECH58502.2023.10296996.
8. Развитие отдельных высокотехнологичных направлений. Белая книга. – М.: НИУ ВШЭ, 2022. – 188 с.
9. Буйдинов Е.В., Кузовкова Т.А., Кузовков Д.В., Шаравова О.И. Методические основы измерения синергетической эффективности инвестиционных проектов связи // Электросвязь, 2020. – № 6. – С. 51-55.
10. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И., Кузовков А.Д., Шаравова М.М. Значение платформенного бизнеса и методические основы измерения синергии эффективности цифровых платформ // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция, 2022. – № 1. – С. 82-91.
11. Кузовкова Т.А., Кузовков А.Д., Шаравов И.М. Понятие ценности цифровых платформ и методы оценки синергии их эффективности // Электронный научный журнал «Век качества», 2022. – № 3. – С. 73-96.
12. Волков А.Н., Мутханна А.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пятого поколения: на пути к сетям 2030 // Информационные технологии и телекоммуникации, 2020. – Т. 78. – № 2. – С. 32-43.
13. Девяткин Е.Е., Иванкович М.В. Сети мобильной связи 6G. План действий для России // Электросвязь, 2021. – № 10. – С. 14-22.
14. Абдурахманов К.Х. Искусственный интеллект – основа устойчивого развития экономики. – М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2023. – 356 с.
15. Кузовкова Т.А., Девяткин Е.Е., Тихвинский В.О., Шаравова О.И. Перспективы развития цифровых услуг интеллектуального мира на основе сетей подвижной связи новых поколений // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция, 2022. – № 2. – С. 80-86.
16. Кузовкова Т.А., Алмаева О.П., Вольнов А.А., Шаравов И.М. Реализация сценариев использования технологий на базе сетей пятого поколения // Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за

рубежом. Сборник материалов (тезисов) 48-й Международной конференции. Москва, 2021. – С. 30-33.

17. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И., Шаравова М.М. Эволюция перехода к парадигме гармоничного развития и экономической сбалансированной модели гармоничного общества // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция, 2022. – № 4. – С. 56-68.

18. Тихвинский В.О., Девяткин Е.Е. Всемирный конгресс MWC Barcelona 2023: метавселенная – угрозы и вызовы для мира телекома // Первая миля, 2023. – № 2. – С. 78-84.

19. Абдулаев Э.А., Лыткина Е.А. Кибербезопасность: вызовы и стратегии защиты в цифровую эпоху // Молодой ученый, 2023. – № 33 (480). – С. 8-9.

20. Кузовкова Т.А., Шаравова О.И. Принципы взаимоувязанного управления развитием инфокоммуникаций и цифровой экономики на основе измерения синергии эффективности: Монография. – М.: Горячая линия-Телеком, 2021. – 176 с.

21. Кузовков А.Д., Салютин Т.Ю. Механизм управления эффективностью применения инфокоммуникационных технологий на основе интегрально-экспертного метода // Инновации в менеджменте, 2017. – № 13. – С. 38-47.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Т.А. Кузовкова, д.э.н., профессор, Московский технический университет связи и информатики, tkuzovkova@te.com;

М.М. Шаравова, Московский технический университет связи и информатики, mariasharavova@yandex.ru;

Д.А. Катунин, Московский технический университет связи и информатики, ka.katunin@yandex.ru.

УДК 33+65 (075.8)

Аннотация. В статье раскрываются сущность, характер и особенности технологии искусственного интеллекта, результаты обоснования и систематизации трендов развития искусственного интеллекта и сфер его применения в социально-экономической деятельности, а также основных тенденций мирового развития генеративного искусственного интеллекта и ключевых направлений использования. Представлены задачи сбалансированного развития и внедрения искусственного интеллекта в России.

Ключевые слова: искусственный интеллект; технологические основы; тренды развития и использования; генеративный искусственный интеллект; тренды мирового развития.

ANALYSIS OF PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

T.A. Kuzovkova, Doctor of Economics, Professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics;

M.M. Sharavova, Moscow Technical University of Communications and Informatics;

D.A. Katunin, Moscow Technical University of Communications and Informatics.

Annotation. The article reveals the essence, nature and features of artificial intelligence technology, the results of substantiation and systematization of trends in the development of artificial intelligence and its areas of application in socio-economic activity, as well as the main trends in the global development of generative artificial intelligence and key areas of use. The tasks of balanced development and implementation of artificial intelligence in Russia are presented.

Keywords: artificial intelligence; technological foundations; trends in development and use; generative artificial intelligence; trends in global development.

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) имеет огромное значение для современного и будущего развития экономики, и социума за счет возможности переложить на него трудоемкие, рутинные операции, возможности обеспечения высокотехнологичного бизнеса, глубокую многофакторную диагностику как здоровья людей, окружающей среды, метеоусловий, так и транспортного движения, логистики, научных исследований и т.д. Люди видят, как искусственный интеллект делает более простыми и удобными многие повседневные процессы, обеспечивает сбалансированность и гармоничность развития социально-экономической деятельности в разрезе отраслей и территорий страны, улучшает качество предоставления государственных и социальных услуг [1].

Применение искусственного интеллекта в науке, образовании, здравоохранении и других сферах жизнедеятельности означает для человечества новый этап развития. В глобальном масштабе применяют программные интерфейсы (API) или модели генеративного искусственного интеллекта пока только 5% компаний [2, 3]. Отрасли экономики и социальной сферы России за последние годы в полтора раза расширили использование решений в области ИИ, с 2020 г. удельный вес организаций, использующих технологии искусственного интеллекта, повысилась с 5,4% до 6,4% [4]. По данным *Report Buyer* объем мирового рынка ИИ за десять лет к 2025 г. увеличится в 42 раза [5].

Результаты анализа сфер применения, факторов и трендов развития искусственного интеллекта

Искусственный интеллект является областью информатики, посвященной созданию систем и программ, способных выполнять задачи, требующие интеллектуальных способностей. Сущность искусственного интеллекта состоит в реализации комплекса технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека^{1,2}[6].

Технологическую основу всех технологий искусственного интеллекта составляют электронная компонентная база, вычислительные мощности, позволяющие решить такие прикладные области как: компьютерное зрение, обработка естественного языка, распознавание и синтез речи, рекомендательные системы и системы поддержки принятия решений. Ключевые технологии, лежащие в основе ИИ, включая машинное обучение, нейронные сети, обработку естественного языка и алгоритм, формируют фундамент для развития более сложных и интеллектуальных систем [7, 8].

¹ Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490.

² Паспорт федерального проекта «Искусственный интеллект» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» от 27.08.2020.

Основной целью применения искусственного интеллекта является моделирование и имитация человеческого интеллекта с применением машин в части анализа данных, извлечения знаний, обучения на опыте и принятия решений. Спектр потенциальных результатов и услуг ИИ весьма широк. Среди основных категорий интеллектуальных продуктов можно выделить интеллектуальных виртуальных помощников, биометрические устройства, транспортные средства с автоматическим управлением, решения для прогнозирования технического обслуживания, медицинские сервисы для диагностики и поддержки принятия врачебных решений, системы контроля состояния транспорта и промышленного оборудования.

К достоинствам искусственного интеллекта относятся высокая скорость и эффективность, точность выполнения задач, создание новых возможностей (позволяет обнаруживать новые образцы и взаимосвязи в данных, которые не всегда улавливают человеческий разум), автоматизация рутинных задач, повышение уровня безопасности [9]. Главными проблемами в реализации искусственного интеллекта остаются этические вопросы, недостаток понимания и квалификации разработчиков, проблемы с безопасностью, сохранение равновесия с человеческим трудом (внедрение ИИ может привести к автоматизации многих рабочих мест и потере их).

Теоретическая и практическая значимость искусственного интеллекта диктуют необходимость исследования тенденций и перспектив развития искусственного интеллекта, возможных сценариев внедрения в будущем на основе анализа влияющих факторов, потенциальных результатов, преимуществ и недостатков, идентификации проблем и задач, с которыми сталкиваются при внедрении технологий ИИ, включая этические и социальные вопросы, проблемы безопасности [10-15].

История искусственного интеллекта насчитывает несколько этапов, начиная с появления понятия в середине XX века и создания первых программ, направленных на имитацию человеческого мышления. Так в период 2016-2019 гг. инвестиции были сосредоточены на продажах софта с алгоритмами ИИ, технологий обработки естественного языка и распознавания речи, ПО для глубокого изучения и распознавания образов, ИИ-решения и ИИ-стартапы (180 млрд долл.). Начиная с 2020 г. многие страны разработали стратегии ИИ, легализовали патенты на ИИ, ежегодный прирост инвестиций составил более 40%, рост числа научных публикаций по ИИ в мире вырос в 1,3 раза, в России в 2,6 раза. КНР потратила на ИИ в 350 раз больше, чем Россия [4]. Современный этап характеризуется интенсивным развитием таких технологий, как машинное обучение и глубокое обучение, генеративный ИИ (*GenAI*), который позволяет создавать текст, изображения и разнообразный контент на основе данных, использованных для обучения моделей. По прогнозу *IDC* в 2027 г. расходы на различные ИИ-решения превысят 500 млрд долл. [16].

Искусственный интеллект существенно меняет ИТ-индустрию и методы ведения бизнес-операций. На рис. 1 представлены основные тренды в области искусственного интеллекта, которые изменяют глобальную бизнес-экосистему.

Искусственный интеллект может применяться в различных сферах социально-экономической деятельности:

- в здравоохранении – для медицинской диагностики, анализа и прогнозирования заболеваний, разработки персонализированных схем лечения, автоматизации и управления данными;
- в производстве – для оптимизации производственных процессов и систем управления цепочками поставок, предсказания отказов оборудования и

- технического обслуживания, создания автономных роботов для выполнения рутинных задач;
- в образовании – для разработки индивидуализированных образовательных программ, автоматизации оценивания учебных успехов, прогнозирования наиболее востребованных потребностей студентов, создания интеллектуальных образовательных платформ;
 - в сфере ИТ – для разработки интеллектуальных систем управления данными, создания интеллектуальных ассистентов и чат-ботов, развития систем автоматического анализа больших данных, информационной безопасности и обнаружения угроз;
 - в биометрических системах, беспилотном транспорте различных уровней автономности, автомобилестроении, энергетике, телекоммуникациях и пр. [10-15].



Рисунок 1

Ключевыми направлениями использования или внедрения средств искусственного интеллекта в деятельность организаций являются:

1) приложения с поддержкой средств генеративного искусственного интеллекта (*GenAI*) как инструменты решения задач анализа больших объемов текстовой информации с применением запросов на естественном языке, улучшения качества цифровых изображений, редактирования материалов, быстрого создания прототипов для производства и пр.;

2) базовые модели (масштабные ИИ-модели, предварительно обученные на огромных объемах данных, большие языковые модели (*LLM*), специально ориентированные на обобщение, генерацию текста, классификацию, формирование ответов на вопросы) позволяют в финансовом секторе использовать чат-боты на основе ИИ для улучшения обслуживания клиентов,

генерируя рекомендации по продуктам и ответы на запросы пользователей, в кредитных организациях – ускорить выдачу займов с помощью базовых моделей, в индустрии развлечений – для разработки игр нового поколения и предоставления пользователям возможности создавать глубоко персонализированные аватары;

3) инструменты управления доверием, рисками и безопасностью (*AI TRiSM*), обеспечения надежности, справедливости, эффективности и защиты данных, этических норм и конфиденциальности пользователей [17].

Основные тренды мирового развития генеративного искусственного интеллекта (*GenAI*) представлены на рис. 2.

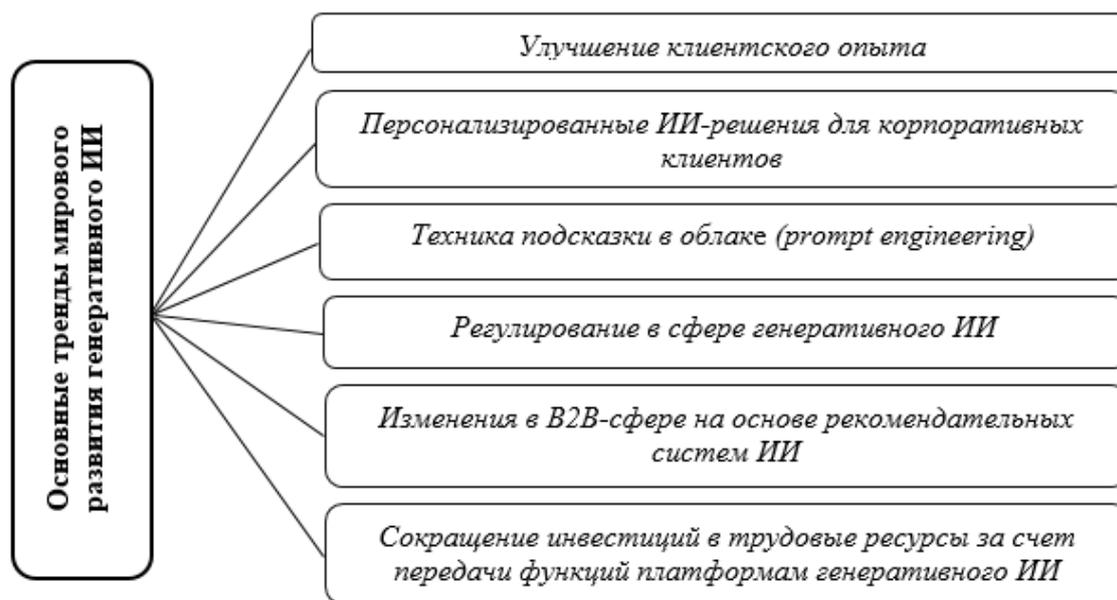


Рисунок 2

Внедрение средств генеративного искусственного интеллекта (*GenAI*) создает новые возможности для физических и юридических лиц, а именно:

- повышение эффективности бизнес-операций, сокращение временных и финансовых затрат за счет автоматизации рутинных задач посредством внедрения приложений с поддержкой *GenAI* и позволяющих принять бизнес-решения на основе анализа больших данных;
- улучшение качества и уровня обслуживания клиентов за счет быстрых ответов и решения многих проблем пользователей службами поддержки, значительного сокращения времени ожидания при звонках в колл-центры и нагрузки специалистов служб поддержки. Станет возможна автоматизация резюмирования обращений и предоставление мгновенных точных ответов с помощью чат-ботов с возможностями извлечения информации.

Заключение

В сфере искусственного интеллекта перед нашей страной стоят большие задачи, связанные с подготовкой кадров, обеспечением инвестиций для стартапов; доработкой актов нормативно-правового регулирования, а также с преодолением международной изоляции России в данной области. Кроме того, важно обеспечить потребности в вычислительных мощностях по всем отраслям, индустриям; создание и развитие научной школы в области ИИ и высокие темпы внедрения ИИ в отраслях экономики.

Активизация и сбалансированность работ по развитию и внедрению ИИ в России планируется отразить в обновленной Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. и подготовить федеральный проект по развитию искусственного интеллекта, который должен стать частью нового национального проекта «Экономика данных». Для внедрения искусственного интеллекта в различных отраслях экономики Минцифры поручено до 20 декабря 2024 г. проработать создание отечественных инструментов (сервисов) обработки данных, использующих ИИ-технологии для обогащения и разметки набора данных, а до 1 апреля 2024 г. обеспечить создание доступной для органов власти платформы по искусственному интеллекту на базе единой цифровой платформы «ГосТех» [17].

Решение этих проблем требует сбалансированного подхода, который включает в себя разработку эффективных нормативных механизмов, технологий безопасности и этических стандартов, а также обеспечение широкой общественной дискуссии о вопросах, связанных с внедрением искусственного интеллекта. Исследование сущности и перспектив развития искусственного интеллекта подчеркивает его важность для современного общества и необходимость баланса между технологическими достижениями, этическими принципами и социальными аспектами для создания гармоничного и эффективного будущего.

Литература

1. Володина Е.Е., Силютин В.Г., Маёршина А.А. Влияние цифровой трансформации бизнеса на российскую экономику // В книге: Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) 51-й Международной конференции. Москва, 2023. – С. 68-71.
2. Искусственный интеллект (мировой рынок). URL [https://www.tadviser.ru/index.php.Искусственный_интеллект_\(мировой_рынок\)?ysclid=lpqgq8cqrpu619770916](https://www.tadviser.ru/index.php.Искусственный_интеллект_(мировой_рынок)?ysclid=lpqgq8cqrpu619770916) (Дата обращения 22.11.2023).
3. Искусственный интеллект изменит мировую экономику. URL https://www.cnews.ru/reviews/ii_2023/articles/iskusstvennyj_intellekt_izmenit?ysclid=lpqgqhh7xt554135652 (Дата обращения 22.11.2023).
4. Абдрахманова Г.И., Васильковский С.А., Вишневский К.О., Гохберг Л.М. Индикаторы цифровой экономики: 2022: статистический сборник. Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2023. – 332 с.
5. К 2025 году рынок искусственного интеллекта вырастет в 26 раз. Узнайте, кто является ключевыми игроками. URL <https://design-hero.ru/articles/401055/> (Дата обращения 22.11.2023).
6. Володина Е.Е., Заболотный В.С. Электронная подпись в рамках цифровой трансформации предпринимательства // В книге: Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) 51-й Международной конференции. Москва, 2023. – С. 72-75.
7. Развитие отдельных высокотехнологичных направлений. Белая книга. – М.: НИУ ВШЭ, 2022. – 188 с.
8. Володина Е.Е., Девяткин Е.Е., Пастух С.Ю., Девяткина Е.М., Плоский А.Ю. Рыночный потенциал интернета вещей // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт, 2016. – № 9. – С. 28.
9. Володина Е.Е., Заболотный В.С. Анализ методов оценки экономической эффективности цифровых решений в деятельности компаний // В книге: Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) 52-й международной конференции. Москва, 2023. – С. 118-121.

10. Борисова О.В. Основные тенденции развития цифровой экономики // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция, 2019. – № 1. – С. 128-131.
11. Чернова Г.В., Халин В.Г., Калайда С.А. Факторы и предпосылки современной экономической конвергенции // Экономика и предпринимательство, 2020. – № 6 (119). – С. 31-36. DOI: 10.34925/EIP.2020.119.6.003.
12. Кузовкова Т.А., Шаравова М.М., Шаравов И.М. Продвижение цифровых сервисов // Труды международной научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы – 2020». – М.: Горячая линия – Телеком, 2020. – С. 765-770.
13. Кузовкова Т.А., Девяткин Е.Е., Тихвинский В.О., Шаравова О.И. Перспективы развития цифровых услуг интеллектуального мира на основе сетей подвижной связи новых поколений // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция, 2022. – № 2. – С. 80-86.
14. Кузовкова Т.А., Шаравова М.М., Шаравов И.М. Оценка влияния новых цифровых и мобильных технологий на потенциал интеллектуального развития России // Технологии информационного общества. Сборник трудов XVI Международной отраслевой научно-технической конференции, 2022. – С. 188-191.
15. Boychenko K., Teixeira F.F., Kuzovkova T., Boychenko I. Role of Interactive Space in Social Relationships through Actor-Network Theory. 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020 – Proceedings, 2020. – p. 9261525. DOI: 10.1109/EMCTECH49634.2020.9261525/.
16. IDC: вложения в проекты цифровой трансформации к 2026 году. URL https://www.osp.ru/articles/2022/1121/13056530?ysclid=lfz6v850_sd984433626 (Дата обращения 22.11.2023).
17. Доклад Минэкономразвития о новой национальной стратегии развития ИИ-основное. URL <https://d-russia.ru/doklad-minjekonomrazvitija-o-novoj-nacionalnoj-strategii-razvitija-ii-osnovnoe.html?ysclid=lpjh1tth2x790380686> (Дата обращения 22.11.2023).

ЛИЧНОСТНО-РАЗВИВАЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ФАКТОР ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

С.А. Дежкина, Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», mrs.incognito@list.ru.

УДК 37.02

Аннотация. Статья посвящена педагогическим условиям, способствующим профессиональному становлению специалиста и совершенствованию образовательного процесса. В контексте современных вызовов и требований к системам образования, эффективные руководители становятся особенно значимыми. Работа представляет аналитический обзор отечественных исследований в данной области и выделяет ключевые аспекты. Предлагаются конкретные мероприятия для совершенствования управления образовательными системами, включая создание специализированных программ, наставничество, доступ к ресурсам для самообразования, психологическую поддержку и системы обратной связи. В заключении подчеркивается важность адаптивности и гибкости в сфере образования для успешного профессионального становления специалиста и повышения эффективности управления образовательными системами.

Ключевые слова: профессиональное воспитание; профессиональное становление; психолого-педагогические условия; образовательные системы; социально-профессиональная компетентность; самоорганизация, наставничество; цифровая образовательная среда.

PERSONAL DEVELOPMENT AS A FACTOR OF PROFESSIONAL DEVELOPMENT

S.A. Dezhkina, Humanitarian and Pedagogical Academy (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «V.I. Vernadsky Crimean Federal University».

Annotation. The article is devoted to the pedagogical conditions contributing to the professional formation of a specialist. In the context of modern challenges and requirements to educational systems, effective leaders become especially significant. The paper presents a literature review of domestic research in this area and highlights key aspects such as self-organization, socio-professional competence, psychological criteria and determinants, adaptation and psychological and pedagogical support. Specific suggestions for improving the management of educational systems are offered, including the creation of specialized programmes, mentoring, access to resources for self-education, psychological support and feedback systems. The conclusion emphasizes the importance of adaptability and flexibility in education for successful professional development of a specialist.

Keywords: professional education; professional formation; psychological and pedagogical conditions; educational systems; socio-professional competence; self-organization; mentoring, digital educational environment.

Введение

В современном обществе существует постоянная потребность в личностном развитии и росте. Этот процесс неразрывно связан с раскрытием личностно-развивающего потенциала, который олицетворяет собой способности и возможности индивида к саморазвитию, самовыражению и самосовершенствованию. Личностно-развивающий потенциал представляет собой важную область исследований в области экономики (труда), менеджменте, психологии, педагогики, социологии, и других наук. Особую актуальность приобретают вопросы исследования специфики личностно-развивающего потенциала, факторов, влияющих на его развитие, и путей активации данного потенциала [1-4].

Постановка проблемы

Подготовка качественных рабочих кадров, соответствующих современным требованиям, которые могут решать сложные производственные задачи является главной целью профессионального образования [2]. Профессиональная компетентность, понимание сути проблемы и способность определять пути ее практического решения, готовность к самостоятельной жизни – основной показатель квалификации современного специалиста. Введение государственного стандарта профессионального образования, а именно подготовка специалистов интегрированной профессии, нуждается в разработке вопросов дидактического обеспечения, создании учебных комплексов и спецдисциплин. Как отмечается в [4], «нужно переосмыслить традиционные подходы к профессиональной подготовке, поскольку личностно-развивающий потенциал этих подходов используется, на наш взгляд, недостаточно. Это, в свою очередь, может привести к

обновлению целей, задач и содержания обучения, к использованию новых форм, методов и средств профессиональной подготовки, отвечающих задаче формирования личности, востребованной современным производством. И не только производством» [4, с. 86].

Изложение основного материала исследования

Личностно-развивающий потенциал представляет собой совокупность внутренних и внешних возможностей личности, направленных на ее развитие, самореализацию и саморазвитие [4-6]. Этот потенциал включает в себя различные аспекты психологических, когнитивных, эмоциональных, социальных и духовных способностей личности. Личностно-развивающий потенциал также связан с осознанием собственных сильных сторон, способностей, интересов, ценностей и убеждений, которые могут служить основой для личностного роста и самоопределения. Личностно-развивающий потенциал играет огромную роль в профессиональном воспитании. Этот концепт означает возможность человека для саморазвития, самопознания, самореализации и принятия ответственности за собственное развитие. В контексте профессионального воспитания, личностно-развивающий потенциал помогает работникам не только улучшить свои профессиональные навыки, но и развить личностные качества, необходимые для успешной работы и удовлетворения в профессиональной сфере.

Одной из основных особенностей личностно-развивающего потенциала является его индивидуальность и уникальность для каждого человека. Каждая личность обладает своим уникальным набором потенциальных возможностей и способностей, которые могут быть раскрыты и развиты в процессе жизни. Кроме того, личностно-развивающий потенциал обладает динамичным характером, т.е. он может изменяться и развиваться в зависимости от внутренних и внешних воздействий, обстоятельств жизни и личностного развития. Одной из основных составляющих личностно-развивающего потенциала является самопознание. Это процесс, включающий в себя осознание своих сильных и слабых сторон, персональных ценностей, убеждений, мотивов и интересов. Работник, который осознает свои потребности и цели, может более эффективно планировать свои действия, принимать обоснованные решения и строить свою карьеру в соответствии с личными предпочтениями. Также важной частью личностно-развивающего потенциала является саморазвитие. Это включает в себя стремление к постоянному улучшению своих профессиональных и личностных качеств. Работник, активно занимающийся саморазвитием, обычно более привлекателен для работодателя, так как он способен лучше адаптироваться к новым условиям, быстрее усваивать новые знания и навыки и рост команды. В результате он может стать более конкурентоспособным на рынке труда и иметь больше перспектив в карьере. Еще одним важным аспектом личностно-развивающего потенциала является самореализация. Это означает достижение собственного потенциала, реализацию своих целей и желаний. Работник, который может полностью реализовать свои способности и творческий потенциал, чаще всего ощущает большее удовлетворение от своей работы и более мотивирован для достижения высоких результатов.

В целом, развитие личностно-развивающего потенциала в профессиональном воспитании позволяет работникам стать более компетентными, адаптивными и успешными в своей профессиональной деятельности. Работодатели, в свою очередь, также заинтересованы в развитии личностной стороны своих сотрудников, так как это положительно сказывается на росте компании и достижении общих целей [7, 8].

Развитие личностно-развивающего потенциала зависит от множества факторов, включая генетические предпосылки, среду обитания, образование, личностный опыт, мотивацию, саморегуляцию и многие другие. Социальное окружение, включая семью, школу, коллективы и общество в целом, также играет важную роль в формировании и развитии личностно-развивающего потенциала. Положительное влияние на формирование этого потенциала оказывают различные образовательные программы, тренинги, коучинг, самопомощь и другие методы личностного развития [2].

Активация личностно-развивающего потенциала может быть осуществлена путем различных методов и техник, направленных на самопознание, саморазвитие, развитие лидерских качеств, эмоциональной и социальной компетентности, управления стрессом, укрепление самооценки и многие другие аспекты личностного роста. Ключевыми методами активации личностно-развивающего потенциала являются самоанализ, самооценка, саморефлексия, развитие эмпатии, общение с успешными людьми, овладение новыми навыками и знаниями, а также постановка и достижение личностных целей.

Введение государственного стандарта профессионального образования – это важный шаг в развитии системы образования и подготовки специалистов. Особенно актуальной становится подготовка специалистов интегрированной профессии, которая требует комплексного подхода и глубоких знаний в нескольких областях. Одним из наиболее важных аспектов введения государственного стандарта профессионального образования является разработка вопросов дидактического обеспечения. Это включает в себя создание учебных комплексов, спецдисциплин, учебных пособий, практических заданий и методических рекомендаций [2]. Это необходимо для обеспечения качественной подготовки специалистов, которые могли бы успешно вести работу в рамках интегрированной профессии. Создание учебных комплексов для подготовки специалистов интегрированной профессии требует тщательного анализа и определения ключевых компетенций, необходимых для успешного трудоустройства в данной области, что также включает в себя определение учебных материалов, лабораторных работ, профессиональной практики и других аспектов, необходимых для полноценного освоения программы обучения.

Спецдисциплины играют важную роль в подготовке специалистов интегрированной профессии, так как они обеспечивают углубленное изучение ключевых аспектов данной профессии. Это могут быть курсы, связанные с инновациями, технологическими новинками, менеджментом, профессиональной этикой и другими актуальными аспектами [9-11]. Таким образом, введение государственного стандарта профессионального образования для подготовки специалистов интегрированной профессии – важный шаг в развитии образовательной системы. А создание учебных комплексов, спецдисциплин и дидактического обеспечения является необходимым условием для обеспечения качественной подготовки специалистов, которые смогут успешно применять свои знания и навыки в профессиональной деятельности.

Одним из средств развития образовательных коммуникаций является использование информационных технологий. Цифровая образовательная среда открывает новые возможности для реализации личностно-развивающего потенциала и профессионального развития личности [13-15].

Как отмечают авторы [15, с. 70], «основная роль цифровых технологий состоит в технологическом совершенствовании образовательного процесса, расширении дидактических возможностей педагога, активизации и мотивации личного взаимодействия педагога и обучающихся».

Эффективное использование дидактического материала цифровых технологий – стратегическая цель цифровой трансформации образования, достижению которой способствует эффективная реализация личностно-развивающего потенциала.

Заключение

Личностно-развивающий потенциал представляет собой важный фактор личностного роста и саморазвития, профессионального становления личности. Его активация и развитие способствуют раскрытию потенциальных возможностей и способностей каждого индивида, что в итоге способствует формированию гармоничной личности и реализации ее целей и задач в различных сферах жизни. Важно отметить, что необходимость личностного развития и раскрытия потенциала актуальна для каждого человека, независимо от его возраста, пола, социального статуса и профессиональной сферы деятельности. Таким образом, личностно-развивающий потенциал играет невероятно важную роль в профессиональном воспитании. Его развитие способствует повышению профессионального уровня работников, улучшению рабочих процессов и результатов, а также созданию благоприятной и продуктивной атмосферы в коллективе. Профессиональная компетентность в современном мире играет решающую роль для специалистов в любой области. Она подразумевает глубокое понимание сути проблемы, умение определять пути ее практического решения и готовность к самостоятельной жизни. Важно быть готовым к непрерывному обучению, развитию и адаптации к новым условиям, чтобы оставаться востребованным и успешным профессионалом.

Литература

1. Абакумова И.В., Елагина М.Ю., Чумак И.В. Социокультурные проблемы развития образования в условиях проектного управления, 2018. – 514 с. Интернет ресурс URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35274758> (дата обращения - январь 2024 г.).
2. Мухамедзянова Ф.Ш., Жураковская В.М. Коучинг как технология развития личностного потенциала обучающегося, механизм раскрытия его индивидуальности // Казанский педагогический журнал, 2018. – № 2. – С. 16-24. Интернет ресурс URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kouching-kak-tehnologiya-razvitiya-lichnostnogo-potentsiala-obuchayuschegosya-mehanizm-raskrytiya-ego-individualnosti> (дата обращения - январь 2024 г.).
3. Дежкина С.А. Современное дидактическое обеспечение подготовки педагогов // Педагогический вестник, 2023. – № 3. – С. 17-18.
4. Корчагин Е.А., Сафин Р.С., Осипов П.Н., Яруллина Л.Р. Личностно-развивающий потенциал профессиональной подготовки будущих специалистов // Профессиональное образование в России и за рубежом, 2014. – № 1(13). – С. 86 - 90.
5. Соколова И.Ю., Иванова Т. В. Развитие личностного потенциала студентов в процессе подготовки к профессиональной деятельности // Профессиональное образование в России и за рубежом, 2014. – № 1(13). – С. 24-31. Интернет ресурс URL: [https://www.prof-obr42.ru/Archives/1\(13\)2014.pdf](https://www.prof-obr42.ru/Archives/1(13)2014.pdf) (дата обращения - февраль 2024 г.).
6. Пичугина Г.А. Личностно-профессиональное развитие студента в формировании педагогического опыта // Балтийский гуманитарный журнал, 2019. – Т. 8. – № 1 (26). – С. 260-263. Интернет ресурс URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lichnostno-professionalnoe-razvitie-studenta-v-formirovanii-pedagogicheskogo-opyta/viewer> (дата обращения - декабрь 2023 г.).

7. Шутенко А.И. Концепция построения образовательных коммуникаций в системе вузовской подготовки. // Сибирский педагогический журнал, 2015. – № 6. – С. 98-104. Интернет ресурс URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-postroeniya-obrazovatelnyh-kommunikatsiy-v-sisteme-vuzovskoy-podgotovki-1/viewer> (дата обращения - декабрь 2023 г.).
8. Даутов Д.Ф. Влияние высокого уровня творческих способностей членов группы на межличностные отношения в коллективе // Субъект профессиональной деятельности: стратегии развития личности, коллектива, организации: Материалы международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2016. – С. 139-146.
9. Азизова С.М. Современные информационные технологии как средство самореализации студентов в образовательном пространстве вуза. // Человек и образование, 2016. – № 3 (48). – С. 103-106. Интернет ресурс URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-informatsionnye-tehnologii-kak-sredstvo-samorealizatsii-studentov-v-obrazovatelnom-prostranstve-vuza-1> (дата обращения - январь 2024 г.).
10. Попович А.Э. Трансформация образовательных технологий в высших учебных заведениях на базе личностно-ориентированного подхода // Педагогика и психология образования, 2022. – № 2. – С. 105-117. Интернет ресурс URL: https://cyberleninka.ru/viewer_images/19396286/f/2.png (дата обращения - январь 2024 г.).
11. Куликова Е.В., Тодорова Т.Н. К вопросу о трансформации педагогических технологий в процессе обучения личности в условиях цифрового образовательного пространства // Научное обозрение. Педагогические науки, 2019. – № 1. Интернет ресурс URL: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1794> (дата обращения - февраль 2024 г.).
12. Климов А.А., Заречкин Е.Ю. Куприяновский В.П. Влияние цифровизации на систему профессионального образования // Современные информационные технологии и ИТ – образование, 2019. – Т. 15. – № 2. // Интернет ресурс URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tsifrovizatsii-na-sistemu-professionalnogo-obrazovaniya> (дата обращения - февраль 2024 г.).
13. Поздняков Д.М., Позднякова А.Л. Применение информационных технологий и систем в школьном образовании // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2016. – Т. 2. – № 12. – С. 87-89. Интернет ресурс URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28146286> (дата обращения - февраль 2024 г.).
14. Гончаров В. Н. Образование в условиях цифрового общества: новые технологии и новые риски // Философское образование, 2018. – № 1 (37). – С. 135-139. Интернет ресурс URL: <https://eli-brary.ru/item.asp?id=36435337> (дата обращения - февраль 2024 г.).
15. Бороненко Т.А., Федотова В.С. Предпосылки цифровой трансформации российской системы образования // Вестник самарского университета. История. Педагогика. Филология, 2020. – № 26 (2). – С. 70-78. // Интернет ресурс URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predposylki-tsifrovoy-transformatsii-rossiyskoy-sistemy-obrazovaniya/viewer> (дата обращения - февраль 2024 г.).

СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА СВЯЗИ. РАДИОТЕХНИКА. АНТЕННЫ. ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ. МЕТРОЛОГИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ОДНОГО ПЕРИОДА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЗАДОВА-ЧУ

В.Э. Русанов, к.т.н., доцент, Московский технический университет связи и информатики, rvvred52@rambler.ru.

УДК 621.396.93

Аннотация. Статья посвящена аналитическому исследованию алгоритмов вычисления комплексных последовательностей Задова-Чу (ZC) и их корреляционных функций одного периода, вычисляемых при обнаружении преамбулы каналов случайного доступа [1]. В отличие от циклических комплексных последовательностей, корреляционные функции последовательности в виде одного периода имеет ненулевые уровни боковых лепестков, величина которых определяет помехоустойчивость синхронизации. Корреляционные функции традиционно используются для анализа случайных процессов [2, 3]. Последовательности ZC часто рассматриваются как псевдослучайные, подобные стохастическим последовательностям. Однако, последовательности ZC и их автокорреляционная функция (АКФ), по определению, не являются случайными. Они описываются формулами с детерминированными функциями [4, 5]. Аналитическое исследование этих формул в данной работе позволило уточнить ограничения на уровень боковых лепестков АКФ, а также получить более компактные выражения для АКФ без громоздких сумм, используемых при вычислении корреляции.

Ключевые слова: автокорреляционная функция; последовательность Задова-Чу; синхронизация; LTE стандарт мобильной связи.

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF THE AUTOCORRELATION FUNCTION OF ONE PERIOD OF THE ZADOV-CHU SEQUENCE

Vladimir Rusanov, candidate of technical sciences, assistant professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics.

Annotation. The article is devoted to an analytical study of algorithms for calculating complex Zadov-Chu (ZC) sequences and their correlation functions of one period, calculated when detecting the preamble of random access channels. Unlike cyclic complex sequences, the correlation functions of a sequence in the form of one period have non-zero levels of side lobes, the magnitude of which determines the noise immunity of synchronization. Correlation functions are traditionally used to analyze random processes. ZC sequences are often considered pseudorandom, similar to stochastic sequences. However, the sequences of ZC and their autocorrelation function (ACF), by definition, are not random. They are described by formulas with deterministic functions. The analytical study of these formulas in this work made it possible to clarify the restrictions on the level of the side lobes of the ACF, as well as to obtain more compact expressions for the ACF without cumbersome sums used in calculating the correlation.

Keywords: autocorrelation function; Zadov-Chu sequence; synchronization; LTE mobile communication standard.

Введение

Как известно, псевдослучайные последовательности широко используются при формировании синхросигналов систем связи [6]. Комплексная последовательность Задова-Чу определяется выражением [7]:

$$c_k = \exp(j\varphi_k) \quad k=0, \dots, N-1,$$

$$\varphi_k = \begin{cases} \exp(-j \frac{\pi u k^2}{N}), & \text{если } N - \text{четное} \\ \exp(-j \frac{\pi u k \times (k+1)}{N}), & \text{если } N - \text{нечетное} \end{cases}$$

Здесь u – параметр, называемый значением корня или индексом последовательности;

N – число элементов в периоде циклической последовательности.

Выбор параметров последовательностей u и N в виде взаимно простых чисел, например (25, 62), (29, 62), позволяет обеспечить нулевые боковые лепестки автокорреляционной функции для бесконечной циклической последовательности [8]. Эти последовательности используются в стандартах связи для синхронизации [9, 10]. Наряду с циклическими используются и последовательности $ZC(u, N)$, состоящие из одного периода [11].

Автокорреляционная функция циклической последовательности может быть вычислена при циклическом сдвиге (или циклическом продолжении):

$$A_{1c}(m) = \sum_{i=1}^N c_i c_{i+m}^* .$$

Автокорреляционная функция одного периода цифровой последовательности с отбрасыванием неперекрывающихся элементов (нециклическая АКФ) определяется формулой:

$$A_1(m) = \sum_{i=1}^{N-m} c_i c_{i+m}^* .$$

Боковые лепестки АКФ таких последовательностей не равны нулю.

Графическое представление перемножаемых элементов последовательности при вычислении АКФ [12] представлено на рис. 1:

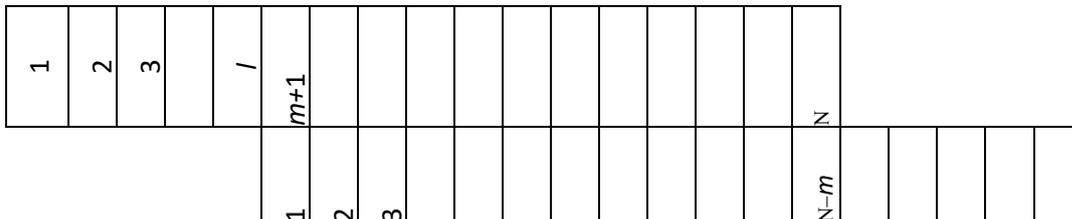


Рисунок 1

Вычисление АКФ предусматривает перемножение и суммирование перекрывающихся элементов (от $m+1$ до N для исходной последовательности и от 1 до $N-m$ – для сдвинутой копии последовательности). Неперекрывающиеся элементы не входят в сумму. При вычислении АКФ для циклически повторяющейся M -последовательности неперекрывающиеся участки совмещаются путем циклического переноса (рис. 2):

Уровень боковых лепестков принято оценивать мерит-фактором, равным отношению квадрата максимума АКФ к среднеквадратическому значению боковых лепестков [13].

$$MF_m = \frac{A_1^2(0)}{\sum_{i=0}^N A_1^2(i)/N},$$

где: $A_1^2(0) = N^2$ – величина квадрата максимума АКФ;
 $A_1^2(i)$ – величина квадрата i -го отсчета боковых лепестков АКФ;
 N – длина АКФ.

Значения мерит-факторов АКФ, рассмотренных выше примеров последовательностей, приведены в табл. 1:

Таблица 1.

u	N	M_f
25	62	31
29	62	26
34	62	29

Мерит-факторы рассмотренных нециклических последовательностей, в отличие от их циклических аналогов, не являются максимально возможными. Подбором параметров u и N можно найти последовательности с меньшими уровнями боковых лепестков (т.е., с большими значениями мерит-фактора). Рассмотрим алгоритм вычисления АКФ одного периода более подробно, что позволит его существенно упростить.

Автокорреляционная функция одного периода последовательности Задова-Чу определяется выражением:

$$A_1(m) = \sum_{i=1}^{N-m} c_i c_{i+m}^*.$$

Для оценки боковых лепестков нециклической АКФ выразим сумму для автокорреляционной функции комплексной последовательности через модули и фазы отчетов (аргументов) этой последовательности:

$$A_1(m) = \sum_{i=1}^{m-N} c_i c_{m+i}^* = \sum_{i=1}^{m-N} |c_i| |c_{m+i}| \cos(\arg [c_i] - \arg [c_{m+i}]).$$

Модули элементов последовательности, по определению, равны 1, поэтому:

$$A_1(m) = \sum_{i=1}^{N-m} \cos(\arg [c_i] - \arg [c_{m+i}]).$$

Рассмотрим выражение для разности фаз β . Будем полагать длину периода последовательности четной.

$$\begin{aligned} \beta &= \arg [c_i] - \arg [c_{m+i}] = \\ &= -\frac{\pi u i^2}{N} + \frac{\pi u (m+i)^2}{N} = \frac{\pi u}{N} (-i^2 + m^2 + 2im + i^2) = \\ &= \frac{\pi u}{N} (m^2 + 2im) = \left(2m \frac{\pi u}{N}\right) i + \frac{\pi u}{N} m^2. \end{aligned}$$

Как следует из определения, фазы элементов последовательности возрастают с ростом порядкового номера i квадратично. Разность фаз элементов последовательности линейно возрастает с ростом порядкового номера i элемента последовательности ZC . Благодаря этому свойству, мы в дальнейшем сможем воспользоваться известными формулами для сумм тригонометрических рядов [14].

$$A_1(m) = \sum_{i=1}^{N-m} \cos \left(i \left(2m \frac{\pi u}{N} \right) + \frac{\pi u}{N} m^2 \right) = \sum_{i=1}^m \cos(xi + d)$$

Здесь параметры: $x = x[m] = 2m \frac{\pi u}{N}$; $d = d[m] = \frac{\pi u}{N} m^2$,

являются функциями корреляционного сдвига m .

Преобразуем косинус суммы по формулам тригонометрии:

$$\begin{aligned} A_1(m) &= \sum_{i=1}^{N-m} \{ \cos(x[m]i) \cos(d[m]) - \sin(x[m]i) \sin(d[m]) \} = \\ &= \cos(d[m]) \sum_{i=1}^{N-m} \cos(x[m]i) - \sin(d[m]) \sum_{i=1}^{N-m} \sin(x[m]i). \end{aligned}$$

Для вычисления сумм синус-рядов и косинус-рядов длиной n известны формулы:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \sin(ix) &= \frac{\cos(\frac{x}{2}) - \cos[x(n+\frac{1}{2})]}{2\sin(\frac{x}{2})}, \\ \sum_{i=1}^n \cos(ix) &= \frac{\sin[x(n+\frac{1}{2})]}{2\sin(\frac{x}{2})} - 1/2. \end{aligned}$$

Подставим в формулы для сумм рядов пределы, нужные для вычисления АКФ:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{N-m} \sin(ix) &= \frac{\cos(\frac{x}{2}) - \cos[x(N-m+\frac{1}{2})]}{2\sin(\frac{x}{2})}, \\ \sum_{i=1}^{N-m} \cos(ix) &= \frac{\sin[x(N-m+\frac{1}{2})]}{2\sin(\frac{x}{2})} - 1/2. \end{aligned}$$

В результате получим формулу для АКФ, не содержащую сумм и более удобную для расчетов:

$$\begin{aligned} A_1(m) &= \cos(d[m]) \left\{ \frac{\sin(x[m](N-m+\frac{1}{2}))}{2\sin(\frac{x[m]}{2})} - 1/2 \right\} - \\ &- \sin(d[m]) \frac{\cos(\frac{x[m]}{2}) - \cos[x[m](N-m+\frac{1}{2})]}{2\sin(\frac{x[m]}{2})}. \end{aligned}$$

В результате расчетов АКФ подобраны последовательности $Z(u, N)$ с наилучшими значениями мерит-факторов M_f (табл. 2):

Таблица 2.

u	N	M_f , дБ
21	62	35
9	58	33
13	38	34
17	38	33
19	28	33

Здесь N – длина последовательности, u – значение корня. Для приведенных примеров расчетов удалось получить значительно более высокие значения мерит-факторов, чем для рассмотренных выше последовательностей: $ZC(25, 62)$, $ZC(29, 62)$, $ZC(34, 62)$.

Полученные результаты можно сравнить с результатами расчетов АКФ M -последовательностей. Рассмотрим неприводимые образующие полиномы 6-й степени [15], генерирующие последовательности примерно сходной длины $N=63$ и определим АКФ для одного периода. Оценка уровня боковых лепестков АКФ посредством мерит-фактора приведена в табл. 3:

Таблица 3.

Обр. полином	N	M_f , дБ
103_8	63	27
141_8	63	26
133_8	63	25
147_8	63	27
155_8	63	25
163_8	63	25

Таким образом, приведенные примеры показывают, что последовательности Задова-Чу имеют преимущество в сравнении с M -последовательностями по уровню боковых лепестков АКФ одного периода.

Заключение

В результате исследований АКФ последовательностей ZC установлено, что величина боковых лепестков имеет следующее ограничение – модуль этой величины на единицу меньше, чем корреляционный сдвиг.

В результате использования выражений для сумм тригонометрических рядов удалось упростить формулу для АКФ. Полученная формула не содержит сумм и более удобна для расчетов.

По результатам расчетов установлено, что преимущество комплексных последовательностей по сравнению с M -последовательностями довольно существенно (мерит-фактор на 7-9 дБ выше). Для АКФ одного периода последовательностей, которые были оптимизированы для получения нулевых боковых лепестков циклической АКФ: $ZC(25, 62)$, $ZC(29, 62)$, $ZC(34, 62)$ – это преимущество также сохраняется, только оно значительно меньше (по мерит-фактору на 3-5 дБ).

Литература

1. Казачков В. О. Исследование реализации синхронизации по сигналам Задова-Чу в стандарте Long Term Evolution для канала с замираниями // Интернет-журнал «Наукovedение» <http://naukovedenie.ru>, 2015. – Т. 7. – № 1.

2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: «Радио и связь», 1985. – 384 с.
3. Галажинская О.Н., Моисеева С.П. Теория случайных процессов. Часть 1 Учебное пособие, Томск, Издательский дом ТГУ, 2015.
4. Франк Р.Л., Задорф С.А. Импульсные коды со сдвигом фазы с хорошими свойствами периодической корреляции // ИРЭ. Поставить в известность. Теория (Корр.), ИТ-8, 1962. – Т. 1. – С. 381-382.
5. Хеймиллер Р.К. «Коды с фазовым сдвигом с хорошими свойствами периодической корреляции», IRE Trans. Поставить в известность. Теория, – В. ИТ-7. – С. 254-257.
6. Квашнина А.С., Баландин Д.О. Процедура первичной и вторичной синхронизации в сети 5G NR. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия, г. Томск, 2015.
7. Бакулин М.Г. Бакулин Л.А., Варукина Б.В. Технология MIMO: принципы и алгоритмы. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2014. – 242 с.
8. Киселева Т.П. Использование последовательностей Задова-Чу для синхронизации по корреляционной кривой циклического префикса OFDM символов LTE технологии // Цифровая обработка сигналов, 2020. – № 1.
9. Гельгор А.Л., Попов Е.А. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие Спб: Издательство Политехнического университета, 2011. – 204 с.
10. Шредер М.Р. Синтез сигналов с низким коэффициентом РСАК и двоичных последовательностей с низкой автокорреляцией, IEEE Trans. Теория (Корр.), 1970. – Т. 1. – В. ИТ-16. – С. 85-89.
11. Бабанов И.А., Андреев Р.А. Технологии доступа к сети 5G NR // Экономика и качество систем связи, 2019. – № 4 (14). – С. 45-53.
12. Rusanov V. Restriction of the M-sequence ACF sidelobes for minor arguments // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2017, – № 3.
13. Киселева Т.П. Исследование свойств циклической автокорреляционной функции последовательности Задова-Чу в зависимости от характеристик квантования элементов последовательности // Цифровая обработка сигналов, 2018, – № 4. – С. 40-44.
14. Пак И.Н. О суммах тригонометрических рядов // УМН, 1980. – Т. 35. – В. 2. – С. 91-144.
15. Ипатов В.П. Периодические дискретные сигналы с оптимальными корреляционными свойствами / В.П. Ипатов. – М.: Радио и связь, 1992. – 152 с.

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОДУЛЯ mmWave И ОБЗОР АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

*А.Ю. Ларионов, Национальный исследовательский университет ИТМО,
alex.lar99@mail.ru;
Е.Е. Каранова, ООО «Специальный технологический центр»,
karanova-zhenya1609@mail.ru.*

Аннотация. Статья посвящена обзору модуля *mmWave* в *NS-3*, который предназначен для сквозного моделирования сотовых сетей типа *3GPP*. Рассмотрены мультиномерология и структура фрейма *5G NR*, процедуры автоматического распределения ресурсов в *5G NR*, а также элемент, отвечающий за распределение радиоресурсов – планировщик (*Scheduling*). Рассмотрены планировщики, которые применяются при проведении модельных экспериментов для оценки производительности в симуляторе *NS-3* с использованием модуля *mmWave*.

Ключевые слова: мультиномерология; алгоритм; модель; структура фрейма; планировщик; оценка производительности; распределения ресурсов; *NS-3*; *5G NR*; модуль *mmWave*.

ANALYSIS OF THE PRINCIPLES OF OPERATION OF THE *mmWave* MODULE AND REVIEW OF PLANNING ALGORITHMS FOR OPTIMIZING RESOURCE ALLOCATION

A.Y. Larionov, ITMO National Research University;

E.E. Karanova, LLC «Center for Special Technologies».

Annotation. The article is devoted to an overview of the *mmWave* module in *NS-3*, which is designed for end-to-end modeling of *3GPP* type cellular networks. The article considers the multi-numerology and structure of the *5G NR* frame, the procedures for automatic resource allocation in *5G NR*, as well as the element responsible for the distribution of radio resources – *Scheduling*. The planners that are used in conducting model experiments to evaluate performance in the *NS-3* simulator using the *mmWave* module are considered.

Keywords: multi-numerology; algorithm; model; frame structure; scheduler; performance evaluation; resource allocation; *NS-3*; *5G NR*; *mmWave* module.

Введение

Одной из наиболее важных особенностей технологии *5G* является использование частот миллиметрового диапазона (*mmWave*). Технология *mmWave* предлагает беспрецедентную скорость передачи данных и пропускную способность сети, что делает ее важнейшим компонентом сетей *5G*.

Большинство современных коммерческих беспроводных систем работают на частотах ниже 6 ГГц, где более низкие частоты обеспечивают распространение на большие расстояния и более низкие потери при проникновении (т.е. затухание стенами и другими препятствиями), что делает их применимыми для радиосвязи. В результате спектр ниже 6 ГГц стал сильно перегружен, и отдельные полосы, как правило, недоступны в виде смежных участков шириной более 200 МГц. Однако большие полосы спектра доступны на более высоких частотах миллиметрового диапазона, что дает возможность очень широкой полосы пропускания, в некоторых случаях даже превышающей 1 ГГц. Технология миллиметровых волн – это технология беспроводной связи, работающая в диапазоне частот от 30 до 300 ГГц (т.е. выше 6 ГГц). Системы, работающие в этих диапазонах, привлекательны из-за большого количества доступного спектра в этих более высоких диапазонах частот и пространственных степенях свободы, обеспечиваемых антенными решетками больших размеров, которые возможны благодаря меньшему размеру антенных элементов на более высоких частотах [1]. Направленные интеллектуальные антенны являются основным технологическим средством, которое позволяет устройствам миллиметрового диапазона преодолеть эффекты трудного

распространения и разблокировать этот высокочастотный спектр. Теоретические потери на пути распространения в свободном пространстве (согласно уравнению Фрииса) пропорциональны квадрату частоты, в результате чего величина принимаемой мощности для сигнала миллиметрового диапазона более чем на 30 дБ (в 1000 раз) меньше, чем в обычных сотовых системах на эквивалентных расстояниях между передатчиком и приемником [2]. Многоэлементные антенные решетки и методы формирования луча *MIMO* предлагают средства компенсации этого высокого затухания. При использовании миллиметровых волн размер антенны и расстояние между элементами антенны сокращаются до нескольких миллиметров, что позволяет размещать сотни элементов на базовой станции и десятки на портативных устройствах. Меньший размер антенны также позволяет интегрировать сразу несколько элементов в мобильные устройства для того, чтобы обеспечить разнесение и поддерживать связь в том случае, даже если сигнал от одного массива блокируется (например, рукой пользователя) [3].

Технология *mmWave* работает путем передачи данных по воздуху с помощью высокочастотных электромагнитных волн. Эти волны имеют гораздо более короткую длину волны, чем волны с более низкой частотой, что означает то, что они могут передавать больше данных на более короткое расстояние. Однако сигналы *mmWave* имеют ограниченный диапазон и могут быть легко заблокированы препятствиями, такими как здания и деревья. Чтобы преодолеть это ограничение, в сетях *5G* используется метод формирования луча, который фокусирует сигнал миллиметрового диапазона в определенном направлении, позволяя ему распространяться дальше и преодолевать препятствия. Формирование луча работает с использованием массива антенн для фокусировки сигнала миллиметрового диапазона в определенном направлении. Антенны могут регулировать фазу и амплитуду сигнала, чтобы создать «луч», указывающий в направлении предполагаемого приемника. Это позволяет сигналу миллиметрового диапазона распространяться дальше и преодолевать препятствия, что позволяет обеспечить высокоскоростное соединение в тех областях, где традиционные беспроводные технологии будут иметь проблемы.

Использование технологии *mmWave* в сетях *5G* дает ряд преимуществ:

- Технология *mmWave* обеспечивает скорость передачи данных, в несколько раз превышающую скорость *4G LTE*.
- Технология *mmWave* имеет гораздо большую пропускную способность, чем низкочастотные беспроводные технологии.

Технология *mmWave* имеет меньшую задержку, чем *4G LTE*, что означает более быструю передачу данных между устройствами.

Тем не менее прежде, чем технология *mmWave* сможет быть эффективно реализована в сетях *5G*, необходимо решить множество проблем:

- *Адаптивное формирование луча и отслеживание луча.* Требование направленности создает новые проблемы для поддержки мобильности в сетях миллиметрового диапазона. Передатчик и приемник должны постоянно отслеживать канал по мере перемещения мобильного пользователя, чтобы выровнять свои антенные решетки для достижения максимального направленного усиления. Также известно, что сигналы *mmWave* особенно восприимчивы к затенению и могут быть полностью заблокированы многими материалами, такими как кирпич, тонированное стекло и даже человеческое тело [4, 5]. К счастью, недавние полевые измерения показали, что отраженной мощности может быть достаточно для связи вне прямой видимости (*NLOS*). Таким образом, заблокированный канал может восстановиться путем направления луча с основного пути

прямой видимости (*LOS*) на альтернативный путь *NLOS*. Пользовательское оборудование (*UE*) и базовая станция должны затем совместно инициировать процедуру поиска и выбора другого пути для восстановления связи.

- *Направленная синхронизация и широкополосные каналы.* Направленность также усложняет разработку многих каналов и процедур управления. Процедуры обнаружения соты и начального доступа, когда *UE* должно искать близлежащие базовые станции, к которым оно может подключиться, потребуют инновационного подхода для эффективной обработки. Традиционные соты периодически транслируют сигналы синхронизации (известные как первичный сигнал синхронизации (*PSS*) в системах *LTE*) во всех направлениях, которые принимаются всеми устройствами в зоне покрытия соты и используются для первоначального подключения к соте. Если бы усовершенствованная узловая база *5G mmWave* (*eNB*) должна была транслировать *PSS* со всенаправленной диаграммой направленности антенны, сигнал не выиграл бы от направленного усиления и мог бы не иметь достаточной дальности для обнаружения многими *UE*. Следовательно, *eNB* и *UE* должны выполнять угловой поиск, чтобы пользователи могли обнаружить *PSS* и отточить оптимальные углы формирования диаграммы направленности передатчика (*TX*)/приемника (*RX*) [6]. Аналогичная проблема также возникает для других управляющих сигналов, таких как назначения управляющей информации нисходящей линии связи (*DCI*), которые указывают ресурсы, назначенные каждому пользователю для передачи по нисходящей линии связи (*DL*)/восходящей линии связи (*UL*) в субкадре или слоте.
- *Проблемы для MAC, сетевого и транспортного уровней.* Быстрая динамика каналов и уязвимость каналов *mmWave* для затенения потребуют частых, почти мгновенных переключений между соседними ячейками *5G* или *4G*. Таким образом, двойное подключение, когда мобильные устройства постоянно подключены как к сети *5G*, так и к устаревшей сети *4G*, может иметь важное значение для восстановления после внезапного сбоя основного канала *5G* [7-8]. Кроме того, на транспортном уровне механизмы контроля и предотвращения перегрузки, предоставляемые *TCP*, должны быть способны быстро адаптироваться к внезапным колебаниям пропускной способности, чтобы максимально использовать пропускную способность канала, избегая при этом перегрузки сети отправкой слишком большого количества пакетов, что приводит к перегрузке и влияет на другие процессы. Текущие версии *TCP* могут быть не оптимизированы для динамики канала *mmWave*, поэтому могут потребоваться новые алгоритмы для обеспечения высокой скорости сеансов *E2E* [9].

Целью данной работы является обзор преимуществ и недостатков технологии *mmWave* при применении в реальных условиях, а также обзор модуля *mmWave NS-3*. Также будут рассмотрены процедуры автоматизированного распределения ресурсов в сетях *5G NR*.

Обзор модуля *mmWave NS-3*

Модуль *NS-3 mmWave* предназначен для сквозного моделирования сотовых сетей стандартов *3GPP*. Как показано на рис. 1, архитектура основана на модуле *NS-3 LTE (LENA)* [10]. Он использует детализированную реализацию протоколов *LTE/EPC* и реализует настраиваемые уровни *PHY* и *MAC*. На рис. 1 показан высокоуровневый состав классов *MmWaveEnbNetDevice* и *MmWaveUeNetDevice*,

которые представляют радиостеки *mmWave eNB* и *UE* соответственно, а также сквозная структура симулятора.

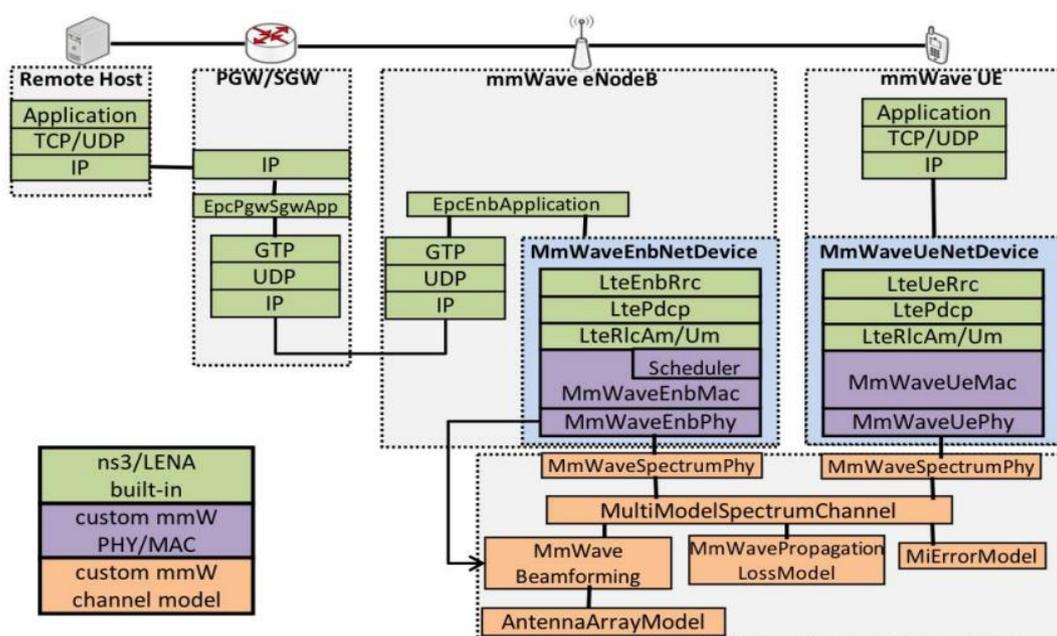


Рисунок 1

Модуль *NS-3 mmWave* также включает в себя *McUeNetDevice*, представляющий собой *NetDevice* с двойным стеком (*LTE* и *mmWave*), т.е. устройство, способное подключаться к обеим технологиям.

Классы уровня *MAC* *MmWaveEnbMac* и *MmWaveUeMac* реализуют точки доступа к услуге (*SAP*) модуля *LTE* и пользовательские интерфейсы, которые обеспечивают взаимодействие с уровнем *LTE RLC*. Поддержка прозрачного режима *RLC (TM)*, режима насыщения (*SM*), режима без подтверждения (*UM*), режима с подтверждением (*AM*) встроена в классы *MAC* и планировщика (т.е. *MmWaveMacScheduler* и производные классы). Планировщик *MAC* также реализует *SAP* для конфигурации на уровне *LTE Radio Resource Control (RRC) (LteEnbRrc)*. Таким образом, доступны все компоненты, необходимые для установления соединения *Evolved Packet Core (EPC)* [11].

Классы *MmWavePhy* обрабатывают направленную передачу и прием данных *DL* и *UL* и каналов управления на основе управляющих сообщений от уровня *MAC*. Подобно модулю *LTE*, каждый экземпляр *PHY* обменивается данными по каналу (т.е. *SpectrumChannel*) через экземпляр класса *MmWaveSpectrumPhy*, который является общим как для *DL*, так и для *UL*. *MmWaveSpectrumPhy* инкапсулируют все модели физического уровня: вычисление помех (*MmWaveInterference*), вычисление отношения сигнала к помехе, расчет коэффициента шума (*MmWaveSinrChunkProcessor*), модель ошибок на основе взаимной информации (*MmWaveMiErrorModel*), которая вычисляет вероятность ошибки пакета, а также объект физического уровня *Hybrid Automatic Repeat reQuest (HARQ) (MmWaveHarqPhy)* для выполнения мягкого комбинирования.

Мультиномерология и структура кадра 5G NR

Технология *5G NR* использует масштабируемую номерологию для обработки различных диапазонов *5G*, различных полос пропускания, режимов развертывания и различных услуг. Номерология (установленная по времени и частоте) представляет физические параметры передачи в *5G NR*, такие как интервал

между поднесущими (SCS), длительность $OFDM$ -символов, а также размер циклического префикса (CP). Для каждого значения интервала между поднесущими могут быть вставлены несколько длин CP для адаптации к различным уровням межсимвольной интерференции (ISI) на разных несущих частотах.

В NR передатчики и приемники могут пользоваться более широкой полосой пропускания в высокочастотных диапазонах. В этом случае разнос поднесущих может быть увеличен (более 15 кГц, как принято в $LTE/LTE-A$, и потенциально до 960 кГц). Кроме того, высокие несущие частоты также подвержены эффекту Доплера, а большой разнос поднесущих может облегчить ослабление межнесущих помех (ICI). С другой стороны, NR также должен поддерживать небольшое расстояние между поднесущими, например 3,75 кГц, поддерживаемое узкополосным интернетом вещей ($NB-IoT$) [12], чтобы обеспечить лучшую энергоэффективность в низкочастотных диапазонах. Следовательно, интервалы между поднесущими в NR масштабируются как подмножество или надмножество 15 кГц. SCS больше не устанавливается на 15 кГц, а количество слотов увеличивается с ν , что делает нумерологию гибкой в $5G$:

$$SCS(\Delta f) = 15 \text{ кГц} \cdot 2^\nu, \text{ где } \nu = 0, 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

Как и в LTE , кадр NR длительностью 10 мс содержит 10 субкадров (каждый длительностью 1 мс). Субкадр состоит из 2^ν слотов в зависимости от размера слота. Слот NR состоит из 14 символов $OFDM$ (обычный CP) или 12 символов (расширенный CP). Длина слота является переменной в зависимости от SCS , используемой для указанного спектра. Оно варьируется от 1 мс для SCS 15 кГц (используется в LTE) до 31,25 мкс для SCS 480 кГц. На рис. 2 представлена нумерология $5G NR$ для диапазона $mmWave$ и более низких диапазонов.

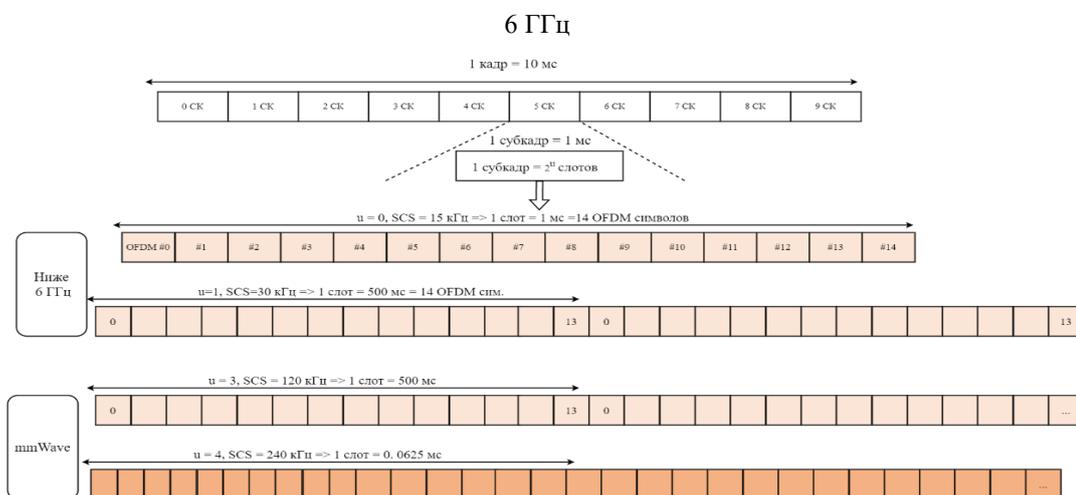


Рисунок 2

Временной интервал передачи (TTI) является переменной величиной и рассчитывается следующим образом:

$$TTI = \text{количество символов} \times \text{длина символа} \quad (2)$$

Количество последовательных символов $OFDM$ в субкадре:

$$N_{\text{ymb}}^{\text{subframe},v} = N_{\text{ymb}}^{\text{slot}} \times N_{\text{slot}}^{\text{subframe},v}, \quad (3)$$

где: $N_{\text{ymb}}^{\text{slot}}$ – количество символов на слот, $N_{\text{slot}}^{\text{subframe},v}$ – количество слотов на субкадр (максимальное число равно 32, $v = 5$). Следовательно, максимальное количество слотов на кадр равно 320 ($v = 5$).

В *NR* мы определяем ресурсную сетку с размерами $N_{\text{sc}}^{\text{RB}}$, как количество поднесущих на ресурсные блоки и $N_{\text{ymb}}^{\text{RBsubframe},v}$, как количество символов в субкадре. Ресурсные блоки в *NR* определяются как 12 последовательных поднесущих в частотной области. Мы определяем элемент ресурса (*RE*), как наименьшую единицу ресурсной сетки, которую можно назначить другому пользователю. Несколько ресурсных сеток определены в *NR* в соответствии с нумерологией, представленной в табл. 1, в которой приведены характеристики кадра *NR* в соответствии с интервалом между поднесущими (*SCS*).

Таблица 1.

v	<i>SCS</i> (Δf)	Длительность слота	Количество слотов на субкадр	Количество слотов на кадр	Количество символов на субкадр
0	15 кГц	1 мс	1	10	14
1	30 кГц	500 мс	2	20	28
2	60 кГц	250 мс	4	40	56
3	120 кГц	125 мс	8	80	112
4	240 кГц	62,5 мс	16	160	224
5	480 кГц	31,25 мс	32	320	448

Процедуры автоматического распределения ресурсов в 5G NR

Множество новых услуг, представленных через интернет, в дополнение к увеличению числа приложений интернета вещей (*IoT*) привели к резкому увеличению объема трафика, требуемого пользователями, особенно в нисходящем направлении. Сеть 5G RAN должна поддерживать в 10-100 раз больше устройств, подключенных к сети *LTE-Advanced (LTE-A)*.

Управление радиоресурсами (*RRM*) и управление помехами (*IM*) для каналов доступа пользователей имеют решающее значение для рациональной оптимизации использования сетевых ресурсов. Назначение блоков ресурсов (*RB*) основано на измерениях пространства, частоты и времени. *RRM* можно рассматривать как важный ключевой фактор для удовлетворения требований среды 5G с точки зрения эффективного управления доступным спектром и помехами в дополнение к требованиям качества обслуживания (*QoS*).

Уровень *MAC* на уровне *gNB/ng-eNB* отвечает за планирование, которое обеспечивает быструю связь между базовой станцией и пользователями, а также оперативное принятие решений базовыми станциями. Элемент, отвечающий за распределение радиоресурсов (*Scheduling*), называется «*Scheduler*». Это ключевой элемент для быстрого и эффективного назначения *RB*. Многопользовательское планирование пакетов нисходящей линии связи (*MU-DLPS*) является одним из важных технических инструментов, целью которого является динамическое управление доступными радиоресурсами. *MU-DLPS* основан на текущих условиях канала и требованиях *QoS* активных пользователей.

Планировщик *NR* (для *DL* и *UL*) должен удовлетворять нескольким ограничениям: вести мониторинг состояния пользовательского оборудования (*UE*), удовлетворение запрошенного *QoS*, мониторинг потоков данных в соответствии с типом приложений, а именно в режиме реального времени (*RT*) и в нереальном

времени (NRT), мониторинг качества канала для каждого UE , а также контроль доступных ресурсов в каждом интервале времени передачи (TTI) для планирования.

На рис. 3 представлено взаимодействие между планировщиком пакетов нисходящего канала и другими объектами для планирования входящих потоков. На основе отчетов индикатора качества канала (CQI), доставленных пользователями на базовые станции, планировщик принимает решение о назначении RB каждому UE в соответствии с алгоритмом планирования, используемым gNB . Тип планировщика влияет на используемую схему адаптивной модуляции и кодирования (AMC).



Рисунок 3

Схемы распределения ресурсов нисходящей линии связи

На уровне планировщика 5G рассматриваются различные правила планирования, каждое из которых, в основном, направлено на обеспечение определенных значений QoS . Кроме того, выбор правил планирования в сети 5G следует оптимизировать вместе с распределением радиоресурсов, поскольку распределение ресурсов и планирование зависят друг от друга. Стратегии планирования предназначены для выделения радиоресурсов для различных активных пользователей в сети 5G, намеревающихся получать пакеты (DL), принимая во внимание условия канала, эксплуатируемые каждым UE . Различные алгоритмы планирования классифицируются по разным категориям в соответствии с процессом, за которым следует процесс выделения RB конкретному UE . Этот процесс основан на вычислении метрики для каждого потока, который будет запланирован для пользователя, с применением различных последовательностей планирования. Предположим, что метрика, назначенная i -му потоку на j -м подканале, определяется W_{ij} . Эта метрика представляет приоритет UE для передачи или приема в конкретном RB . В расчете этой метрики участвуют различные параметры, такие как сообщаемые значения CQI , история распределения ресурсов, предыдущая средняя скорость передачи данных, требования QoS и состояние буфера [13].

Метрика, вычисляемая каждым $gNB/ng-eNB$ для выгоды каждого UE , определяет подход, используемый для выполнения операции выделения радиоресурсов.

Для получения метрики планировщикам пакетов обычно необходимо знать среднюю скорость передачи i -го потока R_i и доступную скорость i -го потока на j -м подканале для каждого UE r_{ij} . Принимая во внимание β как константу, характеризующую скорость передачи данных, R_i оценивается для каждого TTI и определяется уравнением:

$$R_i(k) = \beta R_i(k-1) + (1-\beta)R_i(k), 0 < \beta < 1, \quad (4)$$

где: $R_i(k)$ – достигнутая скорость передачи данных, назначенная i -му потоку во время k -го TPI ;

$R_i(k-1)$ – расчетная средняя скорость передачи данных во время предыдущего TPI .

Основные схемы распределения ресурсов нисходящей линии связи:

1) Пропорционально-справедливое планирование (*PF*).

Подход, применяемый этой схемой основан на поддержании баланса между двумя конкурирующими сторонами: попытке максимизировать общую пропускную способность сети, в то же время предоставляя всем пользователям по крайней мере минимальный уровень обслуживания. Это достигается путем присвоения каждому потоку данных скорости передачи данных или приоритета планирования (в зависимости от реализации), который обратно пропорционален ожидаемому потреблению ресурсов:

$$W_{i,jPF} = \frac{r_{i,j}}{R_{i(k-1)}} \quad (5)$$

где: $r_{i,j}$ – мгновенная скорость потока, доступная для i -го потока в j -м подканале, а $R_{i(k-1)}$ – средняя скорость передачи данных прошлой передачи.

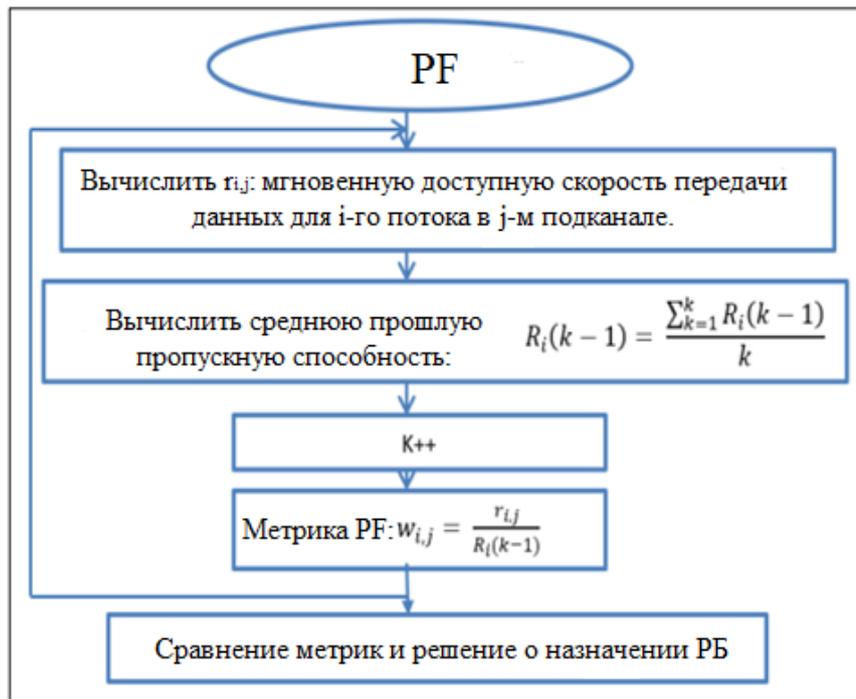


Рисунок 4

Используемые параметры могут влиять на ожидаемую пропускную способность. Следовательно, *UE* может обслуживать в определенное время пользователей в плохих условиях. На рис. 4 показана организационная схема этой стратегии.

2) Максимальный вес (*Max Weight*).

Решение, принятое по этой схеме, основано на критерии задержки пакетов с целью максимизации пропускной способности системы. Используется для чувствительных ко времени потоков. Математическое представление:

$$W_{i,j} = \alpha_i D_{HOL,i} \frac{r_{i,j}}{R_i}, \quad (6)$$

где: $r_{i,j}$ – мгновенная скорость; R_i – предыдущая скорость передачи; $D_{HOL,i}$ – задержка пакета *Head of Line (HOL)* и представляет собой время между поступлением конкретного пакета и его успешной передачей;

$$\alpha_i = \frac{-\log(\delta_i)}{\tau_i} - \text{переменная, характеризующая каждый поток } i.$$

3) Экспоненциальный PF (EXP/PF).

Рассматривая $D_{HOL,i}$ как время первого пакета в очереди и, учитывая критичность потоков в реальном времени (RT) по сравнению с потоками не в реальном времени (NRT) в сети *mmWave 5G*, требуя не превышения порога задержки, был введен алгоритм *EXP/PF* для продвижения трафика RT, где их D_{HOL} очень близко к порогу задержки (τ_i). Пороговое значение задержки зависит от типа запрашиваемой услуги. В табл. 2 показаны значения τ_i для каждого приложения и его приоритета. Уравнение для расчета этого алгоритма разбивается на две части в зависимости от типа передаваемого трафика, как показано на рис. 5.

Таблица 2.

Тип данных	Приоритет	Порог задержки τ_i
Голос	2	0,1
Видео	7	0,1
Протоколы на основе TCP (HTTP и FTP)	8	0,3

4) Экспоненциальное правило (EXP rule).

EXP-rule, в основном, направлен на обеспечение компромисса требований *QoS*, а именно, между скоростью передачи данных в системе, справедливостью и оптимизацией задержки [14]. Этот алгоритм основан на экспоненциальной функции. Правило пытается минимизировать задержку, чтобы сохранить баланс между скоростью передачи данных и средним временем ожидания:

$$W_{i,j} = \frac{r_{i,j}}{R_i} \exp\left(\frac{\alpha_i D_{HOL,i}}{1+\sqrt{Y}}\right) \quad (7)$$

где: переменная, характеризующая каждый поток i : $\alpha_i = \frac{-\log(\delta_i)}{\tau_i}$,

δ_i – вероятность потери пакетов, τ_i – порог задержки.

Поскольку N – это общее количество потоков в очереди, Y выражается уравнением:

$$Y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_{HOL,i} \quad (8)$$

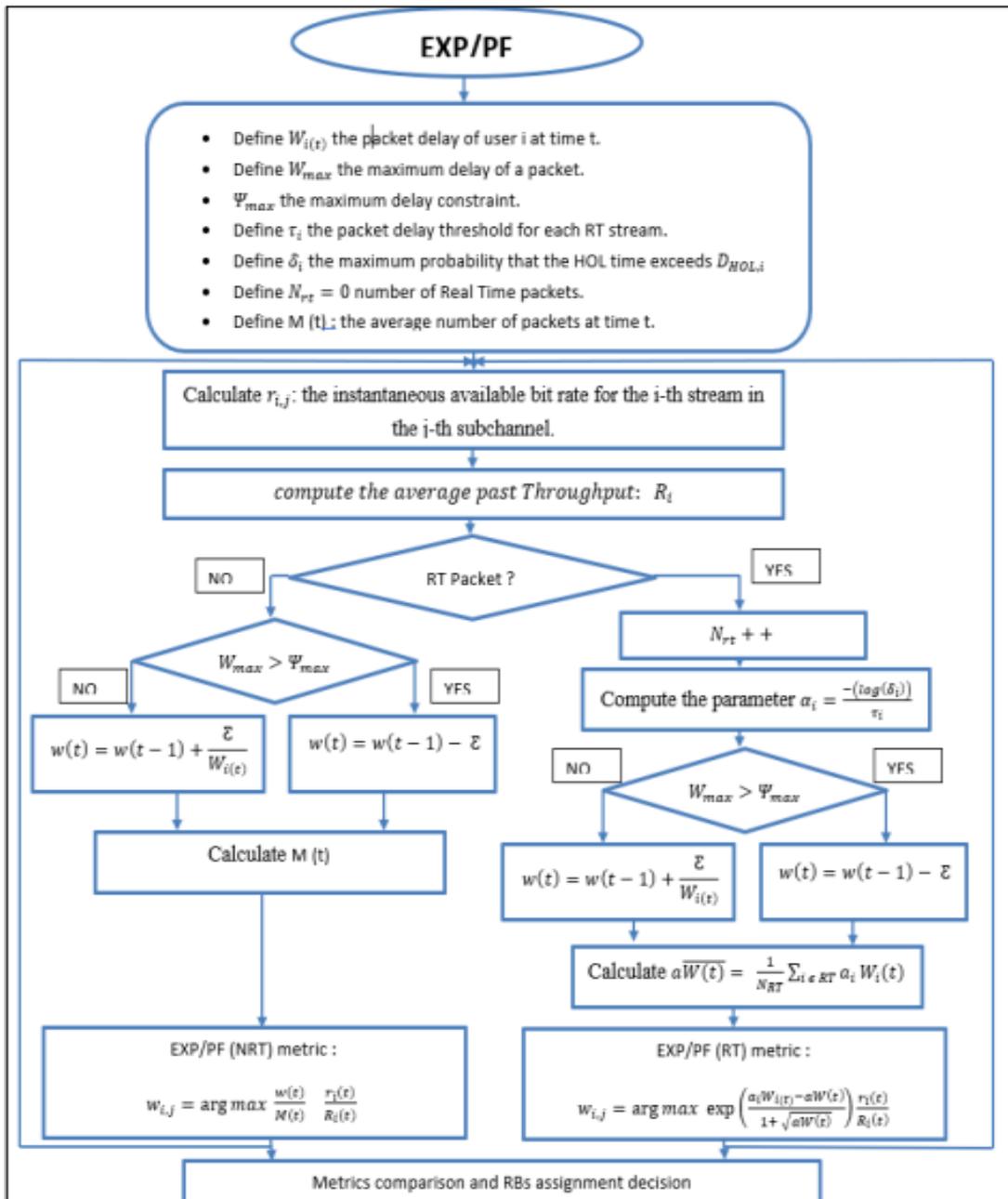


Рисунок 5

Заключение

В данной работе рассмотрена одна из наиболее важных особенностей технологии 5G: использование частот миллиметрового диапазона. Был выполнен обзор преимуществ и недостатков данной технологии. В результате можно сделать вывод о том, что использование *mmWave* предлагает беспрецедентную скорость передачи данных и пропускную способность сети, что делает ее важнейшим компонентом сетей 5G. Спектр миллиметровых волн обеспечивает широкую полосу пропускания, что позволяет увеличить пропускную способность сети и выполнить одновременное подключение множества устройств. Выделены следующие ключевые недостатки: ограниченный частотный диапазон, блокировка сигнала, большие потери при проникновении, необходимость сложных технологических решений.

Выполнен обзор модуля *mmWave* в NS-3, который предназначен для сквозного моделирования сотовых сетей типа 3GPP.

Рассмотрены мультиномерология и структура фрейма 5G NR, процедуры автоматического распределения ресурсов в 5G NR, а также элемент, отвечающий за распределение радиоресурсов – планировщик.

Определено, что планировщик NR должен удовлетворять нескольким ограничениям: вести мониторинг состояния пользовательского оборудования (UE), удовлетворять запрошенному QoS, производить мониторинг потоков данных в соответствии с типом приложений, а именно в режиме реального времени (RT), а также в режиме нереального времени (NRT). В дополнение к этому вести мониторинг качества канала для каждого UE, а также контроль доступных ресурсов в каждом интервале времени передачи (TTI) для повышения производительности планирования распределения ресурсов.

Рассмотрены планировщики, которые будут применены в будущих работах при проведении модельных экспериментов для оценки производительности в симуляторе NS-3 с использованием модуля mmWave: пропорционально-справедливое планирование (PF), «Max-Weight», экспоненциальное правило (Exp-Rule), экспоненциальный PF (EXP/PF).

Литература

1. Mezzavilla M. et al. End-to-end simulation of 5G mmWave networks // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018. – Т. 20. – № 3. – С. 2237-2263.
2. Rappaport T.S. Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, 2002.
3. Azzino T. et al. X-TCP: A cross layer approach for TCP uplink flows in mmWave networks // 2017 16th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net). – IEEE, 2017. – С. 1-6.
4. Zhao H. et al, «28 GHz millimeter wave cellular communication measurements for reflection and penetration loss in and around buildings in New York city», in Proc. IEEE ICC, Budapest, Hungary, 2013. – pp. 5163-5167.
5. MacCartney G.R., Deng S., Sun S. and Rappaport T.S. «Millimeterwave human blockage at 73 GHz with a simple double knife-edge diffraction model and extension for directional antennas», in Proc. IEEE 81st Veh. Technol. Conf., Montreal, QC, Canada, Sep. 2016. – pp. 1-6.
6. Barati C.N. et al. «Directional cell discovery in millimeter wave cellular networks», IEEE Trans. Wireless Commun., 2015. – vol. 14. – №. 12. – pp. 6664-6678.
7. Polese M., Giordani M., Mezzavilla M., Rangan S. and Zorzi M. «Improved handover through dual connectivity in 5G mmWave mobile networks» IEEE J. Sel. Areas Commun., 2017. – vol. 35. – №. 9. – pp. 20692084.
8. Polese M., Mezzavilla M., Zorzi M. Performance comparison of dual connectivity and hard handover for LTE-5G tight integration // arXiv preprint arXiv:1607.05425. – 2016.
9. Zhang M., Mezzavilla M., Zhu J., Rangan S. and Panwar S. «TCP dynamics over mmwave links», in Proc. IEEE 18th Int. Workshop Signal Process. Adv. Wireless Commun. (SPAWC), Jul, 2017. – pp. 1-6.
10. Baldo N. et al. An open source product-oriented LTE network simulator based on ns-3 // Proceedings of the 14th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, 2011. – С. 293-298.
11. URL: <https://www.nsnam.org/> (дата обращения – январь 2024 г.).
12. Пижевский М.К. 5G технологии // Modern Science, 2020. – № 6-2. – С. 309-311.
13. Ахпашев Р.В., Дроздова В.Г. Разработка средства системного моделирования 5G для анализа эффективности планировщика, 2021.
14. Raftopoulou M., Litjens R. Optimisation of numerology and packet scheduling in 5G networks: To slice or not to slice? // 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring), IEEE, 2021. – С. 1-7.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, СЕТИ И ТЕХНОЛОГИИ.
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.
ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ.
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ**

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АКУСТИЧЕСКОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ,
КЛАССИФИКАЦИИ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ОБНАРУЖЕНИЯ СОБЫТИЙ И СЦЕН**

М.Г. Городничев, к.т.н., доцент, Московский технический университет связи и информатики, m.g.gorodnichev@mtuci.ru;

А.В. Тимчук, Московский технический университет связи и информатики, a.v.timchuk@mtuci.ru;

Г.М. Мкртчян, Московский технический университет связи и информатики, g.m.mkrtchyan@mtuci.ru.

УДК 004.023

Аннотация. Использование акустических методов позволяет решить многие проблемы с определением окружающей обстановки, которые присущи другим методам: камеры, ручное наблюдение. В статье разбираются и сравниваются решения, реализующие акустическое детектирование, классификацию и локализацию, и выделяются методы, которые используются для решения данных задач.

Ключевые слова: акустическое детектирование; акустическая классификация; акустическая локализация; нейронные сети; акустическая сцена.

**COMPARISON OF ACOUSTIC DETECTION, CLASSIFICATION AND
LOCALIZATION METHODS FOR SOLVING PROBLEMS OF DETECTING
EVENTS AND SCENES**

М.Г. Городничев, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Moscow technical university of communications and informatics;

A.V. Timchuk, Moscow technical university of communications and informatics;

G.M. Mkrtchian, Moscow technical university of communications and informatics.

Annotation. The use of acoustic methods allows you to solve many problems with determining the environment that other methods have: cameras, manual surveillance. The article analyzes and compares solutions that implement acoustic detection, classification and localization, and identifies the methods that are used to solve these problems.

Keywords: acoustic detection; acoustic classification; acoustic localization; neural networks; acoustic scene.

Введение

Потребность в акустических методах детектирования, классификации и локализации событий и сцен существует во множестве областей, что приводит к активному развитию и эволюции применяемых методов [1, 2]. Поскольку задача детектирования сцены довольно широка, нет единого верного метода решения, который бы применялся для всех возможных условий использования.

Можно выделить следующие условия, влияющие на решение данной задачи:

- Характеристика окружающего фона: естественный шум окружения, в котором должна работать система. Для ряда задач некоторые события, подлежащие обнаружению, являются естественным фоном и не должны учитываться. Примером подобного события может быть человеческая речь: если у нас стоит задача обнаружения людей, это интересное нам событие, если мы ищем аномалии в работе оборудования – речь будет фоном.
- Акустические характеристики событий: каждое акустическое событие имеет уникальный набор гармоник. В зависимости от их частоты и амплитуды можно выделить общие характеристики для интересующих нас событий и отсеять лишнее. В этом случае возможно применить методы, специализированные для конкретных акустических параметров.
- Акустические искажения: искажения звукового сигнала из-за эха, эффекта Доплера, ревербераций, интерференции. Существенность влияния данных эффектов зависит от окружающей среды и акустических характеристик событий.
- Полнота задачи: какие из трех подзадач обнаружения сцены требуется решить: только детектирование, детектирование и классификация, только локализация, или все вместе. Решение каждой из подзадач требует своего подхода.

Поскольку постановка задач довольно сильно различается, необходимо выделить критерии, по которым необходимо проанализировать и сравнить существующие решения, их условия использования, преимущества и недостатки. Сравнимые решения будут рассматриваться как алгоритмы обработки, состоящие из трех фаз: предобработка, обработка, постобработка. Решения будут сравниваться по: решаемой задаче, универсальности применения, возможности адаптации к другим задачам, по эффективности решения задачи. Перед анализом решений следует рассмотреть четыре варианта интерпретации аудиоданных, применимых для решения подобных задач.

Варианты интерпретации аудио

Первый вариант интерпретации аудиоданных предполагает использование обычной вейв формы (рис. 1), характеризующейся временем и амплитудой сигнала. Это самый простой вариант, предоставляющий минимум информации о сигнале. Как правило, этот вариант может использоваться как выходная форма, но редко, как входная.

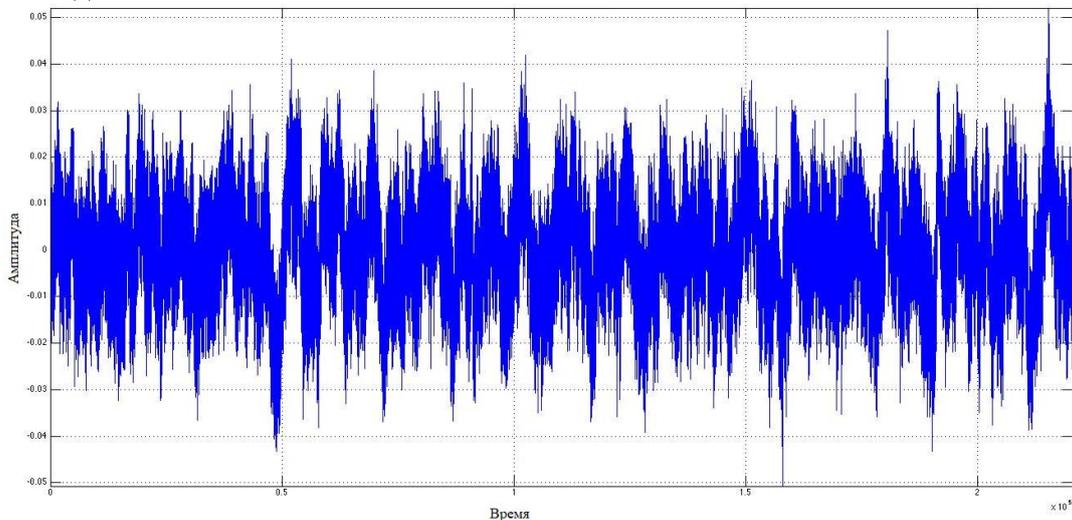


Рисунок 1

Второй вариант – преобразование Фурье [3], которое является классическим для обработки цифровых сигналов.

При его применении из амплитудно-временного представления мы переходим к амплитудно-частотному (рис. 2). Данная интерпретация полезна, так как любое акустическое событие характеризуется определенным набором частот, однако потеря временной характеристики лишает нас возможности определить момент времени события. По этой причине на практике применяется краткосрочное преобразование, позволяющее получить дискретную характеристику времени, что в дальнейшем позволяет сформировать спектрограмму частота-время-амплитуда (рис. 3).

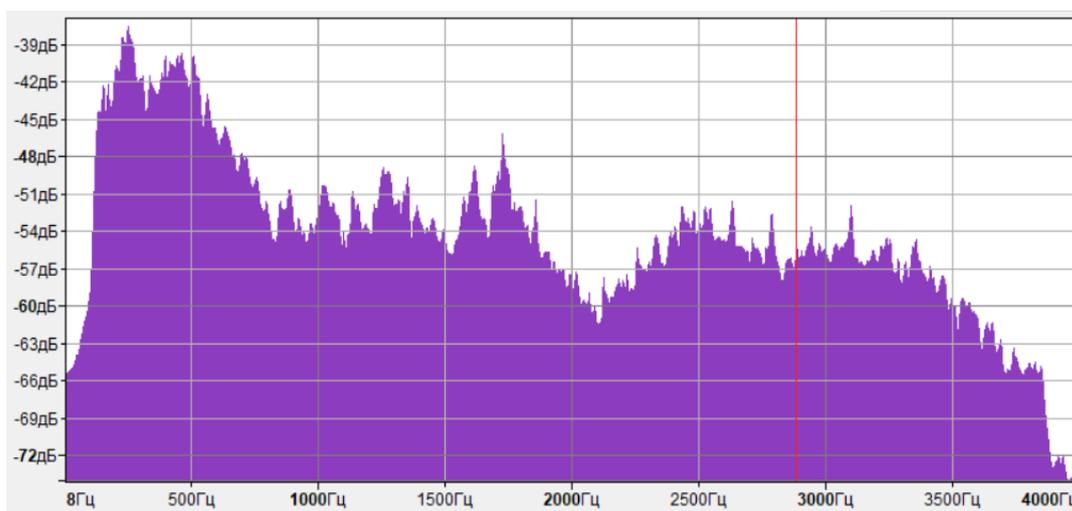


Рисунок 2

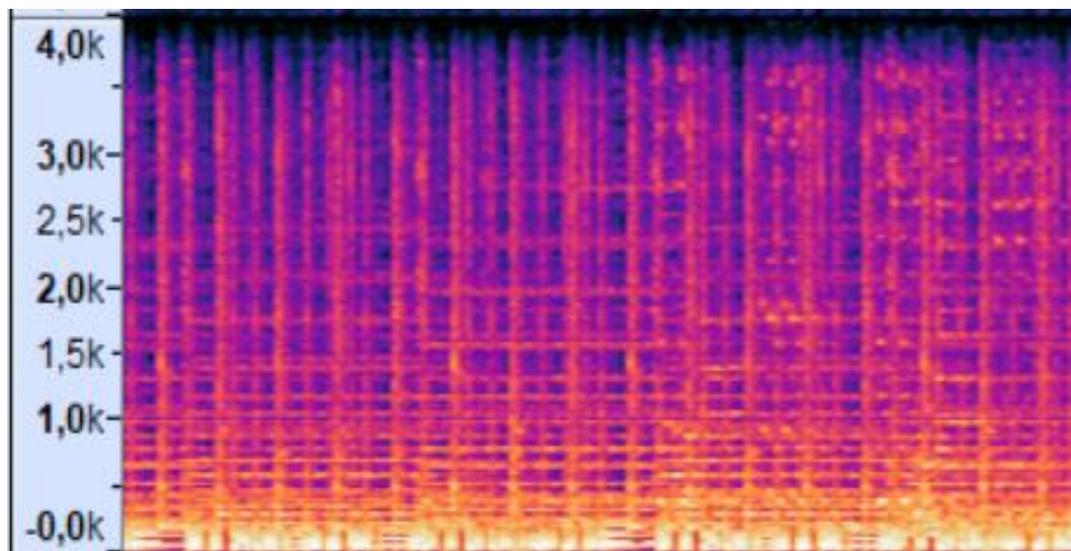


Рисунок 3

Третий вариант – *mel*-спектрограмма [4], которая является обычной спектрограммой (рис. 3), но где частоты переведены в *MEL*-шкалу (рис. 4), больше соответствующая тому, как человек воспринимает звук. Такой способ интерпретации особенно полезен для анализа голоса.

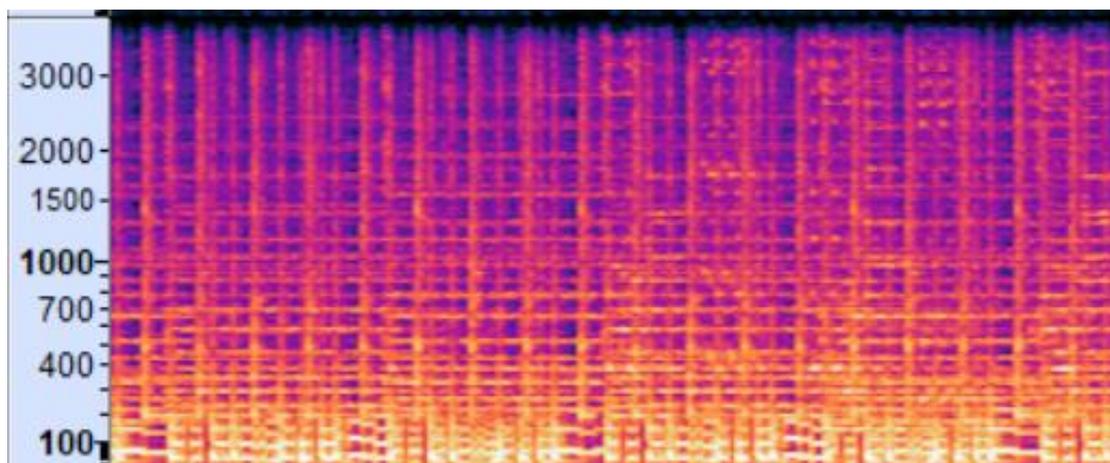


Рисунок 4

Четвертым вариантом является *MFCC* [5], *mel*-частотные кепстральные коэффициенты, которые используются в задачах анализа речи. Для формирования необходимо выполнить следующие операции с *mel*-спектрограммой: взять натуральный логарифм амплитуды (энергии) для каждого значения *mel* и применить дискретное косинусное преобразование отдельно для каждого набора амплитуд по времени. В результате получится спектрограмма вида: номер коэффициента – время – значение коэффициента.

Решения для детекции акустических событий

Первое решение [6] было создано Томасом Гриллоном для решения задачи детектирования птиц. Целью исследования было получить модель, способную эффективно работать в рамках неоднородности исходных данных [7], что в случае с аудио означает: разные фоновые шумы, разная громкость, разные частотные искажения. Решение представляет из себя сверточную нейронную сеть, с двухэтапным алгоритмом обучения, призванным адаптировать модель к новым данным. На этапе предобработки задействован алгоритм создания *mel*-спектрограммы, в результате которой формируются картинки, поступающие на вход модели. На этапе обработки выполняется сверточная модель, на выходе которой получается значение от 0 до 1, как вероятность наличия птицы на данном фрагменте. Постобработка не применяется.

Алгоритм тренировки данной модели двухступенчатый и предполагает наличие двух и более в дальнейшем блоков исходных данных. Первым блоком является изначальный тренировочный размеченный датасет, вторым блоком является тестовый датасет без разметки. На первой стадии тренировки получается первичная модель на первом блоке данных. С ее помощью производится разметка второго блока данных, если значение вероятности достаточно близко к 0 или 1, размеченные данные прибавляются к первому блоку. После чего выполняется тренировка модели на расширенном наборе данных. Расширение датасета и дообучение может проводиться для каждого новых по характеристикам аудиоданных.

Плюсом подобного подхода является работа с ненормализованными данными без необходимости полного обучения с нуля для новых акустических условий, соответственно, модель не накладывает жестких ограничений на используемые технические средства (микрофоны), что характерно для решаемой задачи.

Второе решение для детектирования [8] создано группой исследователей для определения аномалий в аудиопотоке. Под аномалией в данном случае

подразумевается любое нетипичное для окружения событие. Оценка точности модели велась по двум метрикам: *ROC* и *F1*.

Предобработка использует *mel*-спектрограммы для интерпретации аудиосигнала, после которой применяется автоэнкодер. Модель автоэнкодера представляет из себя объединение сверточного энкодера и сверточного декодера, которые обучаются на восстановление изначальной картинке, в качестве такой картинке определяются *mel*-спектрограммы. На этапе постобработки происходит расчет ошибки расхождения восстановленной и изначальной спектрограмм, и, если ошибка превышает установленный рубеж, значит на данном отрезке аудиосигнала присутствует аномалия.

Для тренировки данной модели требуется использовать чистый датасет с максимальным наполнением по нейтральным событиям, так как любые события, не представленные в датасете, будут определяться как аномалии.

Неоспоримым плюсом подобного подхода является обнаружение любых событий, изначально не включенных в раздел допустимых, однако это также и приводит к ощутимому недостатку – датасет должен содержать достаточно образцов окружения, и в случае смены рабочего окружения требуется собирать новый датасет и производить повторное обучение модели с нуля.

Третье решение [9], рассматриваемое в рамках детектирования, решает аналогичную предыдущему задачу, но использует другой подход.

Вместо автоэнкодера применяется модель *WaveNet*, предназначение которой – генерация волновой формы. Сверка ошибки результатов сгенерированной волновой формы относительно исходной позволяет определить аномалию в конкретный момент времени. Оценка точности велась с использованием двух *F1* метрик: одна для оценки обнаружения аномалий и вторая для оценки обнаружения аномалии во времени (оценка задетектированной длительности события с реальной).

На этапе предобработки применяется логарифмическое *mel*-преобразование с 40 значениями (полная спектрограмма не строится) с окном в 25 мс и наложением в 4%, результат которой в дальнейшем нормализуется к интервалу от 0 до 1, на базе статистики по тренировочному датасету, и в заключение расширяется, чтобы сохранить временную характеристику согласованной с изначальной волновой формой. После этого на этапе обработки выполняется *WaveNet* и выполняется оценка сгенерированной формы. На этапе постобработки выполняется три действия для сглаживания результатов детектирования: применяется медианный фильтр, заполняются небольшие разрывы в событиях и убираются события, чья длина меньше установленного уровня.

Данное решение наследует плюсы и минусы предыдущего, но дополнительно приобретает еще один плюс: точная привязка ко времени входящего сигнала, что позволяет добавить в характеристику события точного времени начала и завершения.

Решения для классификации акустических событий

Четвертое решение относится к категории классификаторов и решает задачу обнаружения событий в автодорожном тоннеле [10]. Данная задача подразумевает выполнение классификации событий, т.е., переход от бинарной классификации к классам. У этой задачи есть особые акустические условия: шум и искажения, присущие тоннелю. Для решения проблемы шумов используется довольно сложный алгоритм предобработки.

Первым этапом предобработки выполняется преобразование Фурье на коротком промежутке времени. Следующим этапом идет обработка шума. Обработка шума может производиться разными методами, но в данном случае

применяется алгоритм разделения сигнала и шума на базе *NTF* (*non-negative tensor factorization*). Для работы данного алгоритма нам необходимо заранее получить два базиса: базис, характеризующий сигнал, и базис, характеризующий шум. После применения данного алгоритма будет получено две частотные характеристики. Помимо разделения сигнал/шум был добавлен алгоритм, который должен корректировать базис шума для адаптации к изменяемым характеристикам фона, например, изменению погоды. На этом этап предобработки завершается.

На этапе обработки используется комбинированная сверточно-рекуррентная модель с разделенным входом. На первый вход подается ранее извлеченный сигнал, на второй – извлеченный шум. На первом входе и на втором происходит сначала формирование *mel*-спектрограммы, которая затем проходит через сверточную модель. Параметры формирования спектрограммы и веса сверточной модели различны для сигнала и шума. Результаты их работы конкатенируются и подаются на рекуррентную модель, после которой выполняется классификация. В данном случае извлеченный на этапе предобработки шум не отбрасывается, а также используется, чтобы снизить ошибку классификации. Этапа постобработки нет.

Плюсом данного решения является хорошая устойчивость к акустическим шумам тоннеля, что позволяет с большей точностью классифицировать события. Минусом же данного решения является сложность подготовки датасета и сильная привязанность к условиям использования: при использовании в других акустических условиях требуется собирать датасет и тренировать модель с нуля.

Пятое решение [11] создано для решения акустического обнаружения и классификации дронов. Особенностью данного решения является использование метода трансферного обучения для компенсации объективно малого датасета. Архитектура модели базируется на *CNN14* с изменением количества выходных классов на три: дрон, вертолет и шум.

На этапе предобработки создается *mel*-спектрограмма из исходного сигнала. На этапе обработки выполняется модель, а этап постобработки отсутствует.

Для тренировки модели были взяты веса от *PANN* модели, которая является *CNN14*, натренированной на *AudioSet* датасете.

Применение трансферного обучения позволило добиться высокого качества классификации при обучении на датасете с малым количеством данных, так как модель, взятая за основу, была обучена на схожую задачу классификации, что демонстрирует выгоду такого подхода.

Шестое решение [12] решает задачу определения акустической сцены. Отличие от определения акустических событий заключается в том, что сцена может определяться совокупностью различных событий, которые рассматриваются в группе. Рассматриваемое решение использует довольно сложную структуру, состоящую из большого этапа предобработки, обработки и задействующее постобработку.

На первом этапе предобработки происходит преобразование входного аудио в семь каналов. Исходный сигнал должен быть стерео. Первая пара сигналов, стандартные левый и правый, преобразуются в *mel*-спектрограмму и подаются на двухканальную сверточную модель, где свертка применяется отдельно к каждому каналу, а результат конкатенируется и классифицируется. Вторая пара сигналов «*mid*» и «*side*» формируются как $L+R$ и $L-R$ и также подаются на свою двухканальную сверточную модель. Третья пара сигналов образуется путем разделения одного из исходных каналов по алгоритму *HPSS* (*harmonic-percussive sound separation*), которые также подаются на свою двухканальную сверточную модель. Последний сигнал формируется из одного исходного канала,

преобразуется в *mel*-спектрограмму, после чего применяется алгоритм извлечения фона и результат передается в одноканальную сверточную модель.

На этапе обработки применяются все сверточные модели и их результат объединяется.

На этапе постобработки полученный результат классификации фильтруется через средние вероятности за 10 с, а потом применяется поиск максимального, результат которого и определяет обнаруженную сцену.

Применение такого количества различных вариантов обработки сигнала позволяет делать акценты на особые характеристики звука, в результате чего решение показывает довольно большую точность при тестировании классификации сцен.

Минусами же подобного подхода можно назвать тяжеловесность решения и длительность обработки, так как требуется применить довольно много алгоритмов и моделей.

Решения для локализации акустических событий

Седьмое решение [13] ориентировано на локализацию дронов для обеспечения точной посадки. Поскольку предполагается использование подобной системы для заранее известных дронов, задача классификации заменяется задачей идентификации и сводится к использованию системы меток, которые однозначно могут идентифицировать летающий аппарат. Таким образом, важным аспектом данного решения является аппаратная составляющая, определяемая оборудованием, принимающим сигналы на посадочной площадке, и оборудованием, устанавливаемым на дроны, для отправки сигналов.

Идея данного решения заключается в том, что каждый дрон излучает специальным образом модулируемый сигнал, который является и сигналом идентификации, однозначно определяя аппарат, и опорным сигналом для алгоритма *TDoA*.

Первый этап фазы предобработки – это детектирование смодулированного сигнала на аудиопотоках, записываемых с группы микрофонов посадочной площадки. Вторым этапом предобработки – расчет *TDoA*, то есть, задержки сигнала между двумя парами микрофонов, расположенных на максимальном удалении друг от друга, рассчитанные значения передаются на дрон, согласно идентификации, по беспроводной сети.

На этапе обработки на дроне выполняется его локализация по полученным данным.

Данное решение применимо в довольно узких рамках и обладает рядом ограничений, соблюдение которых необходимо для обеспечения работы системы. Также стоит заметить высокую чувствительность системы к уровню шума и эффекту Доплера, которые приводят к затруднению распознавания передаваемого кода.

Следующее, восьмое решение [14], посвящено гибридной задаче, задействующей все три аспекта: детектирование, классификация и локализация. Цель созданной системы – локализация и классификация выстрелов. Следует отметить, что система требует определенного аппаратного обеспечения, а именно, записывающих модулей, на уровне которых и выполняется детектирование.

На этапе предобработки записывающий модуль проводит двухэтапное детектирование выстрела, в первую очередь, срабатывает детектор пиков, сигнализирующий о резком звуке, после чего применяется медианный фильтр. В случае, если подтвержден звук, похожий на выстрел, выполняется отправка на центральный вычислительный модуль записанного фрагмента с прикрепленными *GPS* координатами и меткой времени.

На этапе обработки на центральном модуле выполняется более точное детектирование и классификация, по результатам которой выполняется локализация, посредством триангуляции по полученным координатам и временным меткам. Точность локализации, в данном случае, зависит от количества модулей, которые среагировали на выстрел.

Достоинством подобного решения можно назвать применимость и в других сценариях, требующих детектирования, классификации и локализации. Недостатками – необходимость использования множества аппаратных модулей для достижения качественной работы системы.

Последнее, девятое, рассматриваемое решение [15] также выполняет все задачи, и предназначено для обеспечения социальной помощи. Аппаратная часть для данной системы состоит из нескольких сферических массивов и одиночных микрофонов, расположенных по всему помещению.

На этапе предобработки в первую очередь применяется подсистема *VAD* или ее аналог *SAD*. Предназначение данных подсистем – детектирование возможности наличия событий для активации дальнейшей обработки для оптимизации вычислений. Вторым этапом идет отделение шума с применением пробалистической маски шума (*cochleogram*), отделение шума выполняется, так как он обычно снижает точность работы классификаторов. После отделения шума происходит извлечение устойчивых к шуму признаков через применение восьми ориентированных краевых детекторов. На этом этап предобработки завершается.

На этапе обработки выполняется детектирование события путем сравнения энергии отделенных шума и сигнала, и, если эта энергия выше определенного уровня, фиксируется наличие события, после чего применяется классификатор.

На этапе постобработки выполняется локализация событий путем расчета множества *DOA* (*direction of arrival*) и их последующей комбинации. Поскольку вычислить *DOA* можно только, зная расположение одного и того же сигнала на записях с разных микрофонов, используется выделение пика и кросс-корреляция (*GCC-PHAT*). Выделение пика применимо в данном случае, так как необходимо обнаружить местоположение человека и опорная частота для мужчин и женщин известна.

Приведенная система является специализированной и заточена на особые условия работы с жестко заданными анализируемыми событиями. Ее использование вне установленных рамок как есть – невозможно, однако отдельные подходы и идеи применимы и в других условиях.

Сравнение используемых методов

Сравним решения в каждой из категорий. Первой рассмотрим категорию решений для детектирования.

Подходы, примененные для трех сравниваемых решений, можно разделить на два типа: поиск конкретных событий и поиск аномалий. Первый подход подразумевает формирование набора данных из двух категорий. В первую категорию попадают образцы всех интересующих нас событий, во вторую – образцы шума, фона и т.д. При подобном подходе требуется приложить достаточно усилий для формирования сбалансированного качественного набора данных. При втором подходе выполняется проверка входных данных на соответствие нормальным, и любое отклонение помечается как аномалия. Датасет, в этом случае, должен быть сформирован из всех вариантов нормального окружения.

Выбор подхода из этих двух зависит от следующих факторов: известно ли заранее, какие события мы ищем, постоянны ли они; постоянны ли окружающий фон; количество событий, которые необходимо детектировать.

Применяемые подходы этих решений делают их достаточно универсальными в рамках задачи детектирования, что позволит их использовать на разных наборах событий.

Решение по поиску событий устойчивее к смене акустического окружения, в то время как системы по поиску аномалий потребуют переобучения.

Механизм дообучения, представленный в первом решении, может приводить к снижению точности, но зато позволяет адаптироваться к разнородным исходным данным.

Задача классификации является расширением задачи детектирования, так как второе сводится по своей сути к классификации с одним классом. По этой причине методы, используемые в предыдущих решениях, применимы и здесь.

Рассмотренные решения можно разделить по объекту классификации: одиночное событие и сцена. Сцена может включать в себя множество событий, присутствие которых не постоянно, а природа различна.

Методы предобработки, используемые в решении для автодорожного тоннеля, позволяют обеспечить работу в довольно сложных акустических условиях, что выгодно отличает от второго, однако в более простых случаях это избыточно. Особенностью пятого решения является переносное обучение, что позволяет упростить сбор датасета, в остальном же нет каких-то особенных решений. Оба решения не учитывают природу событий для своей работы.

Шестое решение отличается одновременным использованием нескольких представлений исходных аудиоданных, каждое из которых обрабатывается отдельно и учитывается в общем результате. Подобный подход позволяет учитывать события с разными акустическими свойствами, что необходимо для классификации сцены.

Задача локализации существенно отличается от двух предыдущих. Первое отличие – аппаратное ограничение: требуется несколько входных аудиопотоков, записанных с микрофонов, причем взаимное расположение этих микрофонов должно быть известно, а их минимальное количество три. Второе отличие – для локализации используются алгоритмы, а не нейронные сети.

Действия, необходимые для локализации, следующие: определить время происхождения события на каждом аудиопотоке, выполнить локализацию.

Первый этап довольно важен, в разобранных моделях он был решен следующими способами: заранее известный сигнал, детектирование с разных точек, кросс-корреляция и поиск пика.

Заранее известный сигнал предполагает, что этот сигнал был сгенерирован в рамках вашей системы, как в случае с посадкой дронов, данный подход довольно легок и эффективен, но недопустим для классификации других сигналов. Такой сигнал легко находится на аудио потоке путем сравнения с паттерном. Однако стоит учитывать влияние эффекта Доплера и прочих искажений.

Детектирование с разных точек – наиболее удобный вариант в случае, если задача совмещена с детектированием и/или классификацией и имеется возможность разнести записывающие устройства по площади. Детектирование обеспечит получение времени происхождения сигнала. Акустические искажения учитываются на этапе детектирования.

Кросс-корреляция и поиск пика применимы, если нет возможности использовать предыдущую схему. В этом случае не выполняется поиск сходных паттернов на аудиодорожках, что позволяет выделить одинаковые события. При таком подходе сложно определить класс события.

Этап локализации выполняется либо через триангуляцию, либо с использованием *TDоА* нескольких пар микрофонов.

Заключение

Рассмотрев и сравнив решения в области детектирования, классификации и локализации можно выделить методы, использование которых позволит создать решение под поставленную задачу, а также особенности, которые стоит учитывать.

Для первичной обработки сигнала используется преобразование Фурье и *mel*-шкала, но построение спектрограмм выполняется в том случае, если модель на вход требует изображение, как *CNN*, например. Чистая вейв форма или *MFCC* не используются, так как у первой недостаточно признаков, а вторая имеет выгоду для анализа речи, а не событий.

В зависимости от акустических условий могут использоваться фильтрующие и разделяющие алгоритмы для решения проблем шума, отделения фона или акустических искажений.

Задача детектирования может быть сформулирована как классификация с одним классом, либо как поиск аномалии. Для первого варианта можно применять различные алгоритмические или нейросетевые подходы, в зависимости от типа обнаруживаемых событий, требований к производительности и т.д. Во втором варианте используется подход с восстановлением исходной картины с отсечением аномалий, благодаря чему последующее сравнение входа и выхода позволяет обнаружить расхождения.

Классификация является расширением детектирования, как классификации с одним классом. Если классифицируются события, то отличий от детектирования нет, и, возможно, вместо детектирования следует использовать сразу классификацию. Однако, если стоит задача классификации сцен, то следует учитывать различную природу всех событий, что составляют сцену, а также то, что не все события постоянно присутствуют на сцене.

Локализация имеет аппаратные требования для обеспечения нескольких точек получения сигнала, минимум трех и может выполняться самостоятельно. В этом случае необходимо использование алгоритмов, позволяющих найти одно и то же событие на разных потоках, например, поиск по образцу, поиск пика, кросс-корреляция. Либо как дополнительный этап после детектирования или классификации, и в этом случае, на предыдущем этапе необходимо получить время и координаты точки записи с каждого устройства.

Аппаратная часть также может влиять и на детектирование с классификацией, это зависит от поставленной задачи и выбранного способа ее решения и должно учитываться при выборе методов.

Литература

1. Daniele Barchiesi, Dimitrios Giannoulis, Dan Stowell and Mark D. Plumbley. Acoustic Scene Classification: Classifying environments from the sounds they produce // *IEEE Signal Processing Magazine*, 2015. – № 32 (3). – С. 16-34.
2. Jakob Abeßer A. Review of Deep Learning Based Methods for Acoustic Scene Classification // *Applied Sciences*, 2020. – № 10 (6).
3. Зорич В. А. Математический анализ. – М.: Физматлит, 1984. – 544 с.
4. Smith S.S., Volkman John, Newman E.B. A scale for the measurement of the psychological magnitude pitch // *Journal of the Acoustical Society of America*, 1937. – № 8 (3). – С. 185-190.
5. Vibha Tiwari Tiwari MFCC and its applications in speaker recognition, 2010.
6. URL https://github.com/OFAI/bird_audio_detection_challenge_2017 (Дата обращения – декабрь 2023).
7. Dan Stowell, Mike Wood, Hanna Pamuła, Yannis Stylianou, Hervé Glotin Automatic acoustic detection of birds through deep learning: The first Bird Audio Detection challenge, 2018.

8. Duman T.B., Bayram B., İnce G. Acoustic Anomaly Detection Using Convolutional Autoencoders in Industrial Processes // 14th International Conference on Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications (SOCO 2019). SOCO 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 950.
9. Hayashi T., Komatsu T., Kondo R., Toda T., Takeda K. Anomalous Sound Event Detection Based on WaveNet // 26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Rome, Italy, 2018. – pp. 2494-2498.
10. Kim N.K., Jeon K.M., Kim H.K. Convolutional Recurrent Neural Network-Based Event Detection in Tunnels Using Multiple Microphones // Sensors, 2019. – № 19 (12):2695.
11. Yaacoub M., Younes H., Rizk M. Acoustic Drone Detection Based on Transfer Learning and Frequency Domain Features // 2022 International Conference on Smart Systems and Power Management (IC2SPM), Beirut, Lebanon, 2022. – pp. 47-51.
12. Yoonchang Han, Jeongsoo Park, Kyogu Lee Convolutional Neural Networks with Binaural Representations and Background Subtraction for Acoustic Scene Classification // В книге: Proceedings of the Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events 2017 Workshop. Сборник материалов Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events (DCASE) 2017, Munich, Germany. – pp. 46-50.
13. Weiguang Wang, Luca Mottola, Yuan He, Jinming Li, Yimiao Sun, Shuai Li, Hua Jing, and Yulei Wang MicNest: Long-Range Instant Acoustic Localization of Drones in Precise Landing // In Proceedings of the 20th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '22). Association for Computing Machinery, New York, – pp. 504-517.
14. Jakub Svatos, Jan Holub, Jan Belak System for an acoustic detection, localisation and classification // 24th IMEKO TC4 International Symposium 22nd International Workshop on ADC and DAC Modelling and Testing IMEKO TC-4 2020. – pp. 62-69.
15. Goetze S., Schroder J., Gerlach S., Hollosi D., Appell J.-E., Wallhoff F. Acoustic Monitoring and Localization for Social Care // Journal of Computing Science and Engineering. – V. 6. no. 1. – pp. 40-50.

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА КАЧЕСТВО ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ УСЛУГ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

М.М. Добрышин, к.т.н., Академия ФСО России, dobrithin@ya.ru;

В.А. Фролов, Академия ФСО России, r414@bk.ru.

УДК 004.942

Аннотация. Современный этап развития средств обеспечения информационной безопасности свидетельствует о том, что помимо положительного влияния на защищаемую корпоративную сеть связи указанные средства способны существенно затруднять, а в некоторых случаях и блокировать предоставления абонентам сети требуемых услуг связи. Для разрешения указанного противоречия сформулирована модель, позволяющая выявить зависимости между отдельными свойствами услуг связи, сети связи и качества средств обработки информации, с одной стороны, и применяемых средств обеспечения информационной безопасности – с другой стороны. Применение модели позволит определить способность корпоративной сети связи предоставлять требуемые услуги связи при использовании заданного набора средств обеспечения информационной безопасности.

Ключевые слова: качество связи и услуг связи; корпоративная сеть связи; система обеспечения информационной безопасности; моделирование.

A MODEL FOR ASSESSING THE IMPACT OF AN INFORMATION SECURITY SYSTEM ON THE QUALITY OF SERVICES PROVIDED BY A CORPORATE COMMUNICATION NETWORK

*M.M. Dobryshin, Candidate of Technical Science, Academy of the FSO of Russia;
V.A. Frolov, Academy of the FSO of Russia.*

Annotation. The current stage of development of information security tools indicates that in addition to a positive impact on the protected corporate communications network, these tools can significantly complicate, and in some cases block the provision of required communication services to network subscribers. To resolve this contradiction, a model has been formulated that allows us to identify the dependencies between individual properties of communication services, communication networks and the quality of information processing tools on the one hand and the means used to ensure information security on the other hand. The application of the model will determine the ability of a corporate communication network to provide the required communication services when using a given set of information security tools.

Keywords: quality of communication and communication services; corporate communication network; information security system; modeling.

Введение

Изучение процесса обеспечения информационной безопасности (ИБ) требует комплексного рассмотрения всех протекающих подпроцессов в защищаемой системе. Результаты практической деятельности свидетельствуют о том, что определенный набор применяемых средств обеспечения информационной безопасности (в настоящее время существует – 17 видов)¹ не только защищает от различных воздействий, но и затрудняет процесс предоставления абонентам сети требуемых услуг связи и ухудшает качество этих услуг [1-3].

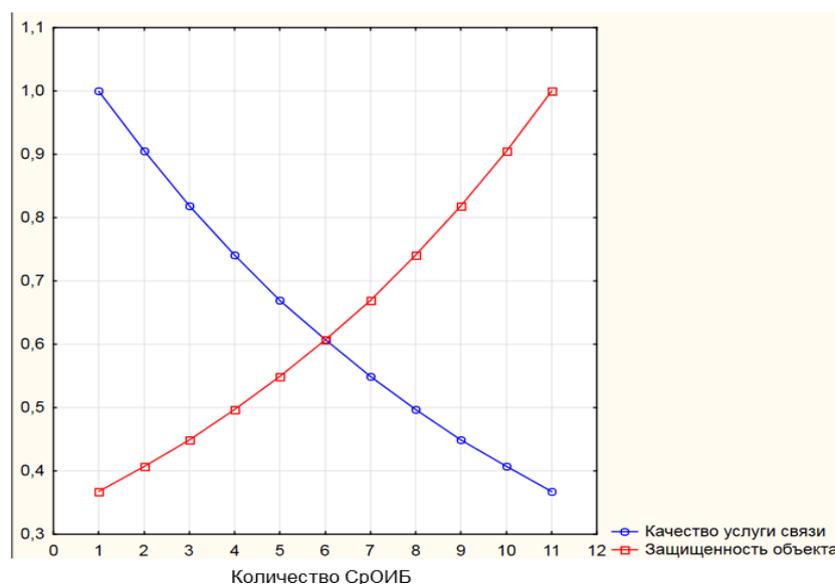
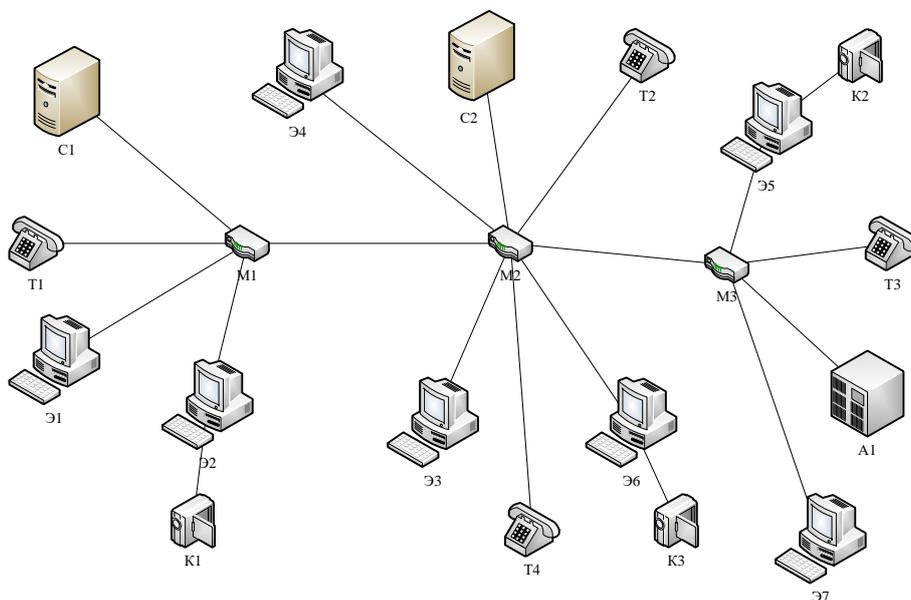


Рисунок 1

¹ Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Приказ от 22 сентября 2020 г. № 486 «Об утверждении классификатора программ для электронных вычислительных машин и баз данных».

Таким образом, возникает задача о нахождении набора средств обеспечения ИБ (СрОИБ), объединенного в систему обеспечения информационной безопасности (СОИБ), который, с одной стороны, позволит предоставить требуемое количество услуг связи с заданным качеством, а с другой стороны обеспечит требуемую защищенность элемента сети (рис. 1) и уровень информационной безопасности корпоративной сети связи (КСС) [4-6].

Материальной основой обеспечения требуемого качества предоставляемых услуг связи является инфраструктура КСС (вариант локальной сети показан на рис. 2), которая характеризуется группой свойств, описывающих качество сети (рис. 3)^{2,3} [7, 8] и свойств элементов, из которых состоит сеть. Элементами могут выступать узлы сети и серверы информационных ресурсов, объединяющие средства обработки информации (СОИ) (совокупность автономных устройств сбора, накопления, передачи, обработки и представления информации)⁴, и программное обеспечение (ПО), установленное на указанных СОИ.



- | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| K1– Камера видеоконференцсвязи | C2– Сервер быстрых сообщений |
| K2– Камера видеоконференцсвязи | A1– Автоматическая телефонная станция |
| K3– Камера видеоконференцсвязи | Э1– Персональный компьютер |
| M1– Маршрутизатор | Э2– Персональный компьютер |
| M2– Маршрутизатор | Э3– Персональный компьютер |
| M3– Маршрутизатор | Э4– Персональный компьютер |
| T1– Телефон | Э5– Персональный компьютер |
| T2– Телефон | Э6– Персональный компьютер |
| T3– Телефон | Э7– Персональный компьютер |
| C1– Сервер видеоконференцсвязи | |

Рисунок 2

² ГОСТ Р 53111-2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки.

³ ГОСТ Р 53801-2010. Связь федеральная. Термины и определения.

⁴ ГОСТ Р ИСО/МЭК 25023-2021. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программной продукции (SQaRE). Измерения качества системы и программной продукции.



Рисунок 3

Анализ подходов оценки качества СОИ и ПО⁵ [8, 9] возможно проводить как самостоятельно существующих объектов отдельно СОИ, так и отдельно ПО, однако результаты носят в значительной степени абстрагированный анализ и не позволяют получить адекватную оценку. В актуальных регламентирующих документах порядок оценки качества аппаратно-программных средств, предлагается производить комплексно [10], группа свойств, характеризующих качество СОИ при использовании указана на рис. 4.



Рисунок 4

Основываясь на предположении, что в начальных условиях функционирования сеть способна обеспечить предоставление заданного количества услуг связи с требуемым качеством, следует вывод, о том, что существуют воздействия, выводящие систему (КСС) из равновесного состояния и снижающие качество [11].

⁵ ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (*SQuaRE*). Модели качества систем и программных продуктов.

Опираясь на теорию устойчивости Ляпунова и различные направления теории управления, и теорию рисков, воздействия целесообразно разделить на внешние и внутренние воздействия.

Под внешними воздействиями понимаются все действия из внешней среды, способные повлиять на цель функционирования КСС – предоставление абонентам заданного количества услуг связи с требуемым качеством.

Под внутренними воздействиями понимаются влияние элементов на цель функционирования КСС.

Воздействия могут нести отрицательное (негативное) влияние – ухудшение качества предоставляемой услуги связи, и положительное влияние – расширение количества предоставляемых услуг связи, повышение качества и минимизация внешнего деструктивного воздействия.

Внешними воздействиями на КСС, способными ухудшить качество предоставляемых услуг связи выступают действия, направленные на поиск новых уязвимостей ПО или выявление новых условий, при которых возможно реализовать известные уязвимости, различные компьютерные атаки (КА) и действия абонентов и/или инженерно-технического персонала, направленные на предоставление новых услуг связи или формирования новых элементов сети.

Действия абонентов и технического персонала по целенаправленному или непреднамеренному воздействию на сеть также относятся к внешним воздействиям. Причем в отличие от действий злоумышленника, действия абонентов и технического персонала носят разнонаправленный характер. Так, применение нового оборудования или ПО потенциально повышает качество предоставляемых УС, а с другой стороны, новое программное обеспечение обладает новым набором уязвимостей, что изменяет поверхность защиты и выводит КСС из состояния «защищено» в состояние «не защищено».

К источникам внутренних воздействий на КСС относятся элементы, которые входят в состав сети, т.е. СОИ, ПО, СОИБ, объединяющая СрОИБ.

В качестве отрицательных (дестабилизирующих) воздействий, оказываемых СОИ, и ПО на КСС рассматриваются эксплуатационные отказы и сбои [12].

В качестве положительных воздействий, оказываемых СОИ, и ПО на КСС выступают обновления и изменение настроек, устраняющие известные уязвимости или блокирующие реализацию известных техник реализации КА.

СОИБ также вносит разнонаправленные воздействия – с одной стороны, СОИБ минимизирует или предотвращает ущерб от различных видов КА, с другой стороны – СОИБ затрудняет процесс предоставления УС.

Модель оценки влияния системы обеспечения информационной безопасности на качество предоставляемых услуг связи корпоративной сети связи

Влияние СОИБ на качество функционирования КСС (рис. 5), описывающих эксплуатационные характеристики применяемых СОИ с установленным набором ПО, информационных технологий сетевого взаимодействия и затрудняющих (ухудшающих) качество предоставления УС возможно описать следующими выражениями:

$$\begin{cases} q_i^{\text{СОИБ}}(t) = f(p_{ij}^g(t), \langle n_g \rangle) \\ Q^{\text{СОИБ}}(t) = f(p_{ij}^g(t), q_i^{\text{СОИБ}}(t), S, \langle n_g \rangle), \\ Q_m^{\text{СОИБ}}(t) = Q^{\text{СОИБ}}(t) \otimes q_i^{\text{СОИБ}}(t) \end{cases} \quad (1)$$

где: $p_{ij}^g(t)$ – значения j -го параметра, отражающего функциональные характеристики i -го защищаемого СОИ, входящего в состав элемента КСС в условиях применения g -о средства СрОИБ ($\langle n_g \rangle$), входящего с состав СОИБ.

Исходными данными для модели являются значения параметров эксплуатационных характеристик СОИ, информационных технологий, топология и структура сети, схемы, описывающие взаимодействия элементов для организации и предоставления услуг связи.

Промежуточными результатами блочной модели влияния СОИБ на качество предоставления УС являются: отклонение фактических значений (измеренных значений в условиях применения СОИБ) параметров, характеризующих эксплуатационные характеристики СОИ от допустимых (требуемых) соответствующих значений; отклонение фактических значений (измеренных значений в условиях применения СОИБ) параметров, характеризующих эксплуатационные характеристики применяемых ИТ сетевого взаимодействия от допустимых (требуемых) соответствующих значений.

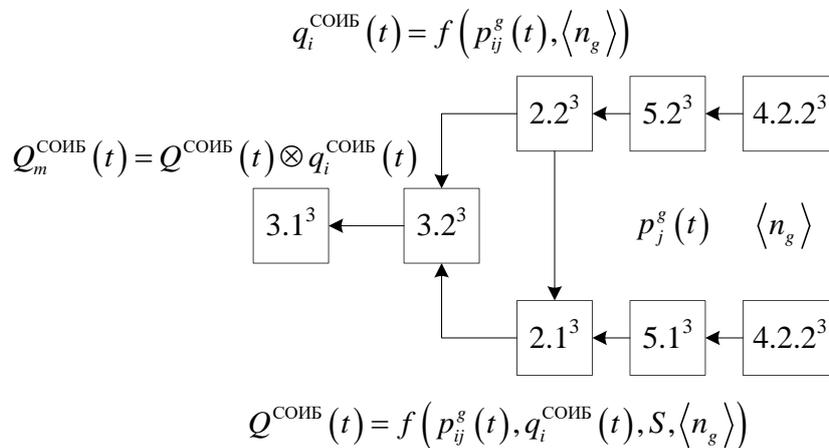


Рисунок 5

Выходными результатами являются изменение значений параметров, описывающих следующие свойства:

для средств обработки информации:

– результативность ($X_m^R(t)$) – доля задач i -го СОИ, которые выполняются правильно в условиях n -й конфигурации СОИБ (применения заданного набора СрОИБ и режимов их работы):

$$X_m^R(t) = \frac{A_m^R(t)}{B_i^R}, \quad (2)$$

где: $A_m^R(t)$ – количество выполненных уникальных задач при n -й конфигурации СОИБ i -м СОИ, B_i^R – общее количество выполненных уникальных задач i -м СОИ;

– эффективность / производительность – эффективность затраченного времени на успешное выполнение задачи (X_m^O) i -м СОИ в условиях n -й конфигурации СОИБ:

$$X_{in}^O = \frac{A_{in}^O}{T_i^O}, \quad (3)$$

где: A_{in}^O – количество выполненных уникальных задач i -м СОИ при n -й конфигурации СОИБ, T_i^O – время на выполнение заданного количества задач i -м СОИ;

– покрытие контекста – доля предполагаемых контекстов использования ($X_{in}^K(t)$), в которых i -е СОИ может использоваться в условиях n -й конфигурации СОИБ:

$$X_{in}^K(t) = \frac{A_{in}^K(t)}{B_i^K}, \quad (4)$$

где: $A_{in}^K(t)$ – количество контекстов с приемлемым удобством использования и риском j -м СОИ при n -й конфигурации СОИБ, B_i^K – общее количество требуемых различных контекстов использования j -го СОИ.

Значения $A_{in}^R(t)$, $A_{in}^O(t)$, $A_{in}^K(t)$ – определяются экспериментально для каждого СОИ, функционирующего в условиях n -й конфигурации СОИБ.

Значения B_i^R , B_i^O , B_i^K – определяются на основе требований абонента предъявляемых к количеству предоставляемых услуг связи i -м СОИ.

для сети связи:

– целостность сети – вероятность связности (связность, ($S^j(t)$)) элементов сети при предоставлении j -й услуги связи в условиях n -й конфигурации СОИБ:

$$S^j(t) = \prod_{a=1}^b s_{an}^j(t), \quad (5)$$

$$s_{an}^j(t) = \prod_{i=1}^m X_{in}^R(t), \quad (6)$$

где: $s_{an}^j(t)$ – вероятность связности элементов сети при предоставлении j -й услуги связи a -у абоненту в условиях n -й конфигурации СОИБ, m -набор СОИ, используемых для предоставления j -й услуги связи.

Пример для схемы КСС, показанной на рис. 2:

$$\begin{aligned} s_{1n}^{\text{BKC}}(t) &= X_{K1n}^{\text{BKC}}(t) X_{Э2n}^{\text{BKC}}(t) X_{M2n}^{\text{BKC}}(t) X_{C1n}^{\text{BKC}}(t), \\ s_{2n}^{\text{BKC}}(t) &= X_{K2n}^{\text{BKC}}(t) X_{Э5n}^{\text{BKC}}(t) X_{M3n}^{\text{BKC}}(t) X_{M2n}^{\text{BKC}}(t) X_{M1n}^{\text{BKC}}(t) X_{C1n}^{\text{BKC}}(t), \\ s_{3n}^{\text{BKC}}(t) &= X_{K3n}^{\text{BKC}}(t) X_{Э6n}^{\text{BKC}}(t) X_{M2n}^{\text{BKC}}(t) X_{M1n}^{\text{BKC}}(t) X_{C1n}^{\text{BKC}}(t), \\ S^j(t) &= s_{1n}^{\text{BKC}}(t) s_{2n}^{\text{BKC}}(t) s_{3n}^{\text{BKC}}(t), \end{aligned}$$

где: $s_{1n}^{\text{BKC}}(t)$, $s_{2n}^{\text{BKC}}(t)$, $s_{3n}^{\text{BKC}}(t)$ – вероятность связности элементов сети, участвующих в предоставлении видеоконференцсвязи для абонентов №1, №2, №3 при n -й конфигурации СОИБ; $X_{K1n}^{\text{BKC}}(t)$, $X_{Э2n}^{\text{BKC}}(t)$, $X_{M2n}^{\text{BKC}}(t)$, $X_{C1n}^{\text{BKC}}(t)$ – вероятность

выполнения требуемой функции: камерой видеоконференцсвязи № 1 (К1, рис. 2), персонального компьютера № 2 (Э2, рис. 2), маршрутизатора № 2 (М2, рис. 2), сервера видеоконференцсвязи (С1, рис. 2) соответственно;

– доступность сети – вероятность того, что пользователь услуги после запроса (направленного в сеть) получает сигнал ответа в условиях n -й конфигурации СОИБ ($P_n^{\text{отв}j}(t)$):

$$P_n^{\text{отв}j} = \prod_i X_{in}^O. \quad (7)$$

– устойчивость (живучесть) функционирования сети – вероятность предоставления хотя бы одной услуги ($Q(t)$) из всего перечня предоставляемых услуг связи ($J = 1, 2, \dots, j$):

$$Q^J(t) = K_n^r(t) P_{jn}(t), \quad (8)$$

$$Q(t) = \prod_j Q^J(t), \quad (9)$$

где: $K_n^r(t)$ – коэффициент готовности фрагмента сети, используемого для предоставления услуг связи, $P_{jn}(t)$ – вероятность предоставления j -й услуги связи в условиях n -й конфигурации СОИБ (определяется экспериментально).

для качества услуг связи:

– удобство – количество операций, выполненных абонентом для получения требуемой услуги связи (Y_{an}^j) в условиях n -й конфигурации СОИБ:

$$\begin{aligned} Y_{an}^j &= (n_n^{\text{доступ}j}, T_n^{\text{доступ}j}), \\ n_n^{\text{доступ}j} &> N^{\text{доп доступ}}, \\ T_n^{\text{доступ}j} &> T^{\text{доп доступ}}, \end{aligned} \quad (10)$$

где: $n_n^{\text{доступ}j}$ – количество операций, которые должен выполнить a -й абонент, для доступа к j -й услуге связи, $N^{\text{доп доступ}}$ – допустимое количество операций, которые должен выполнить a -й абонент, $T_n^{\text{доступ}j}$ – время, затрачиваемое a -м абонентом на доступ к j -й услуге связи, $T_n^{\text{доступ}}$ – желаемое (ожидаемое) время, затрачиваемое a -м абонентом на доступ к j -й услуге связи.

$n_n^{\text{доступ}j}$, $T_n^{\text{доступ}j}$ – определяются экспериментально, $N^{\text{доп доступ}}$, $T_n^{\text{доступ}}$ – определяется на основе опросов абонентов.

– действенность – доля успешно установленных соединений (сессий) ($n_n^j(t)$), от общего количества попыток установления соединений ($N^{\text{соед}}$):

$$D_n^j(t) = \frac{n_n^j(t)}{N^{\text{соед}}}, \quad (11)$$

для качества восприятия:

– удовлетворенность абонента провайдером – своевременность выполнения заявки на подключение клиента к сети связи (субъективное мнение абонентов, определяется опросами).

Заключение

Перечисленные взаимосвязи между отдельными свойствами услуг связи, сети связи и качества средств обработки информации, с одной стороны, и применяемых средств обеспечения информационной безопасности – с другой стороны, позволят разрешить сформулированную задачу по предоставлению требуемого количества услуг связи с заданным качеством и требуемым уровнем информационной безопасности.

Применение модели позволит определить способность корпоративной сети связи предоставлять требуемые услуги связи при использовании заданного набора средств обеспечения информационной безопасности.

Направлением дальнейших исследований является изучение влияния заданного набора средств обеспечения информационной безопасности на частные показатели выявленных зависимостей.

Литература

1. Белов А.С., Добрышин М.М., Шугуров Д.Е. Научно-методический подход к оцениванию качества систем обеспечения информационной безопасности // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2022. – № 11. – С. 34-40.
2. Давлятова М.А., Мокшонкова А.А. Защита информации как основное направление повышения качества услуг // В сборнике: Торговля и сервис от настоящего к будущему: инновации в сфере товаров и услуг. Сборник трудов по материалам молодежной конференции, 2017. – С. 287-289.
3. Лаврова Д.С. Подход к разработке SIEM-системы для Интернета вещей // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы, 2016. – С. 50-60.
4. Курочкина А.А., Стародубцев Г.Ю., Коровина Е.К. Факторы, влияющие на оценку качества услуг связи // Перспективы науки, 2016. – № 12 (87). – С. 104-106.
5. Зегжды Д.П. Кибербезопасность цифровой индустрии. Теория и практика функциональной устойчивости к кибератакам / Под редакцией профессора РАН, доктора технических наук Д.П. Зегжды. – М.: Горячая линия - Телеком, 2020. – 560 с.
6. Добрышин М.М. Выбор структуры и механизмов адаптивного управления системы обеспечения информационной безопасности // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2022. – № 2. – С. 214-222.
7. Давлятова М.А., Курочкина А.А., Стародубцева В.В. Оценка нормативных документов в области качества услуг, предоставляемых на базе инфотелекоммуникационной сети // Перспективы науки, 2016. – № 12 (87). – С. 107-110.
8. Давлятова М.А., Стародубцев Г.Ю., Хныкина Т.С. Эволюция развития теории и практики управления качества // Международный технико-экономический журнал, 2017. – № 2. – С. 82-85.
9. Добрышин М.М., Горбуля Д.С. Подходы оценки качества связи и предоставления услуг связи и задачи по их совершенствованию в рамках обеспечения информационной безопасности // Экономика и качество систем связи, 2023. – № 3 (29). – С. 60-71.
10. Давлятова М. А., Стародубцев Ю. И. Оценка и управление качеством

функционирования высших учебных заведений в условиях глобализации // Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона, 2017. – Т. 1. – С. 228-230.

11. Белов А.С., Добрышин М.М., Шугуров Д.Е. Функциональный подход к комплексной оценке уровня информационной безопасности элемента корпоративной сети связи // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2023. – № 3. – С. 30-39.

12. Белов А.С., Добрышин М.М., Горшков А.Н., Шугуров Д.Е. Предложение по определению эксплуатационной надежности программного обеспечения сложных технических систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2022. – № 9. – С. 143-148.

ВАРИАНТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА АРЕНДУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

Д.С. Горбуля, Академия ФСО России, gorbulya@ya.ru.

УДК 004.942

Аннотация. В статье проведена оценка применимости нейросетей для прогнозирования изменений значений параметров, характеризующих качество информационных потоков. Определена архитектура нейросети, объединяющая многослойные перцептроны и на основании сравнения результатов прогнозирования определена длина обучающей выборки, необходимая для адекватного автоматического построения нейросети. Также сравнение результатов прогнозирования изменения значений параметров с измеренными значениями позволило определить, что автоматически сформированная нейросеть превосходит результаты традиционных аналитических подходов.

Ключевые слова: мониторинг; прогнозирование технического состояния; нейросети.

A VARIANT OF USING NEURAL NETWORKS TO PREDICT CHANGES IN THE QUALITY PARAMETERS OF LEASED INFORMATION FLOWS

D.S. Gorbulya, Academy of the FSO of Russia.

Annotation. The article evaluates the applicability of neural networks to predict changes in the values of parameters characterizing the quality of information flows. The architecture of the neural network combining multilayer perceptron's is determined and, based on a comparison of the prediction results, the length of the training sample necessary for adequate automatic neural network construction is determined. Also, a comparison of the results of forecasting changes in parameter values with the measured values made it possible to determine that the automatically generated neural network surpasses the results of traditional analytical approaches.

Keywords: monitoring; forecasting of technical condition; neural networks.

Введение

Повышение роли инфотелекоммуникационных систем (ИТКС) в деятельности современного общества, усложнение алгоритмов их функционирования и критичность к дестабилизирующим факторам,

способствовали развитию средств и систем мониторинга технического состояния. Однако получение возможности по измерению большего количества параметров, характеризующих функционирование систем, породило группу новых взаимоувязанных задач [1-3]:

- «сколько потоковых данных теряется из-за того, что их не успевают сохранить и/или обработать?»;
- «что из потерянных данных – существенно и что изменилось бы, если бы не были потеряны данные?»;
- «сколько (длительность), как часто (периодичность), что и где измерять?».

На разрешение указанных задач влияют две группы факторов:

- технические и технологические возможности средств обработки потока данных о состоянии контролируемой системы (чем выше производительность средств, тем больший объем входных данных возможно обработать);
- подходы, применяемые для обработки статистических данных (в том числе *bigdata*) обладают различной адекватностью, сложностью, условиями применимости, достоверностью.

Учитывая динамичность изменения значений параметров ИТКС, принятые подходы управления системой, основанные на оценке ее текущего состояния, не позволяют своевременно выявить дестабилизирующее воздействие, принимать решения о применении управляющих воздействий. Традиционные подходы описания функционирования систем с помощью дифференциальных уравнений, элементов математической статистики, имитационного моделирования из-за значительного усложнения ИТКС и протекающих в ней процессов становятся менее эффективны и востребованы в практической деятельности [4-8]. Для замены указанных математических подходов все в большем количестве отраслей деятельности применяют эвристические методы, основанные на применении технологий искусственного интеллекта: генетические алгоритмы, нечеткая логика и нейросети [9-11]. Также следует отметить, что из-за высокой скорости изменения состояния адаптивные системы, в том числе и ИТКС, переходят от оптимального к рациональному управлению, т.е. нахождению управляющих воздействий, удовлетворяющих заданным условиям в конкретный момент времени. Перечисленные факторы привели к коррекции требований, предъявляемых к достоверности результатов прогнозирования (моделирования), определяющих момент изменения тренда или достижения конкретных значений параметров, описывающих систему.

Текущий этап развития технологии нейросетей показывает их высокую эффективность. Успешным примером применения нейросетей для анализа временных рядов, описывающих изменения экономических индексов на крипторынке, может служить нейросеть «*Mirocana*» (отечественная разработка), учитывающая в составлении прогноза более 100 валютных пар, множество технических индикаторов, а также разнообразные экономические новости. Средняя ошибка прогнозирования нейросети «*Mirocana*» для индекса МосБиржи составила 6 % [12, 13].

Целью исследования является определение применимости использования нейросетей (обученной и использующей исходные данные от системы мониторинга *Zabbix*), как источника исходных данных для системы управления компьютерной сети связи (КСС), использующей арендуемые информационные потоки.

Задачами исследования является определение:

- структуры нейросети, применяемой для прогнозирования изменения параметров, характеризующих качество информационного потока;
- объема выборки, необходимого для обучения нейросети, позволяющей прогнозировать изменения параметров, характеризующих качество информационного потока с требуемой достоверностью;
- длительности обучения нейросети.

Выбор и обоснование структуры нейросети для прогнозирования изменения качества информационных потоков

Цель исследования достигается на основе обработки статистических данных созданного полунатурного стенда (рис. 1), синтеза группы нейросетей с использованием *STATISTICA* и анализа результатов прогнозирования.

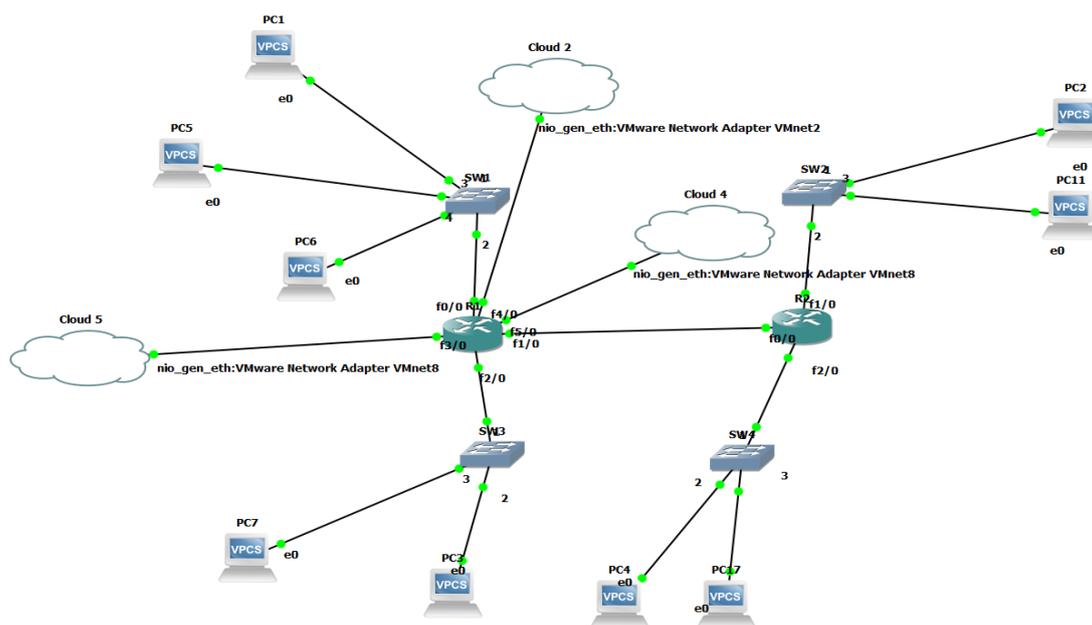


Рисунок 1

Текущий этап развития транспортной инфраструктуры ИТКС с коммутацией пакетов показывает, что увеличение информационных потоков, создаваемых элементами сети, является причиной роста коэффициента потери пакетов (*IPLR*) и коэффициента ошибок пакетов (*IPER*) и приводит к ухудшению качества предоставляемых услуг связи. Применение полунатурного стенда позволяет имитировать функционирование КСС с возможностью повторения экспериментов при одних и тех же условиях. В рамках исследования в качестве основы стенда использована среда *GNS3 (ver. 2.1.0)*. Сформированный стенд позволяет имитировать работу телекоммуникационного оборудования и измерять значения параметров отдельных элементов при изменении информационной нагрузки, формируемой всеми элементами транспортной сети.

В качестве инструмента сбора статистических данных об изменении параметров, характеризующих качество информационного потока, применена система мониторинга оборудования транспортной сети с коммутацией пакетов *Zabbix (ver. 3.4)* (рис. 2).

Анализ работ в области синтеза нейросетей для анализа временных рядов [14-16] позволил сгруппировать известные архитектуры нейросетей в следующие группы:

- сети, объединяющие многослойные персептроны (*MLP NN*);
- рекуррентные нейронные сети (*RNN*);
- сети общей регрессии (*GRNN*);
- сети прямого распространения (*RBFN*);
- вероятностные нейронные сети (*PNN*).

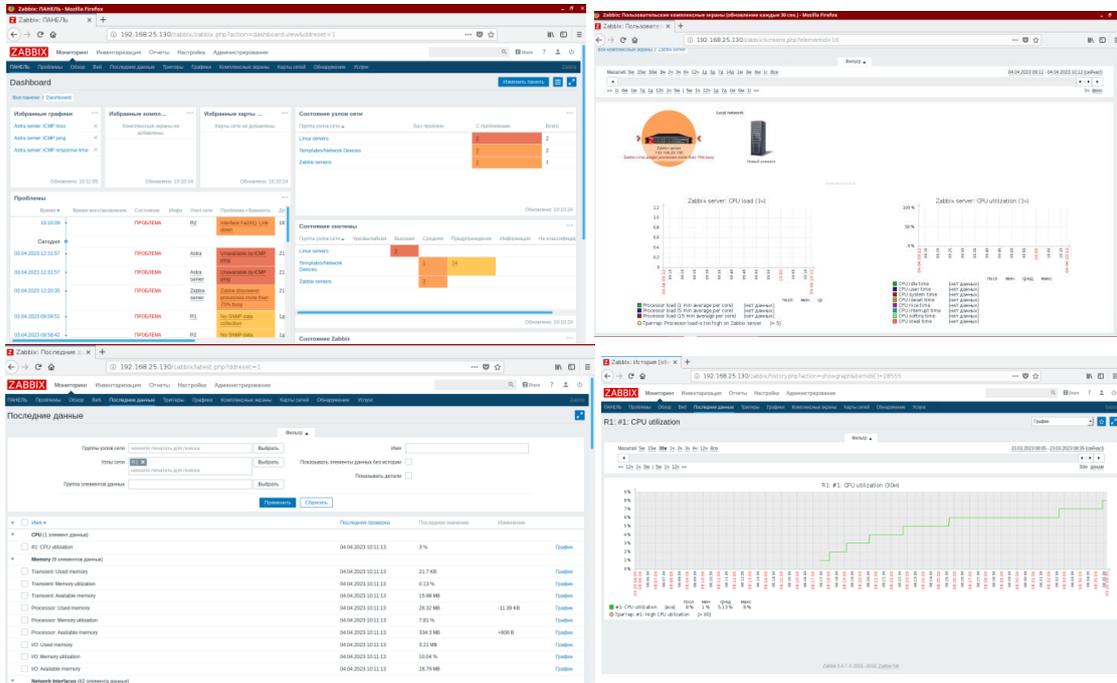


Рисунок 2

Сравнение результатов прогнозирования изменения временных рядов с использованием указанных архитектур нейросетей, проведенное в работах [15-17], показывает, что для решения заявленной в статье задачи возможно применение сети многослойных персептронов. Данные сети позволяют осуществить прогнозирование изменения временного ряда с высокой степенью достоверности при незначительных временных затратах на их разработку (встроенные возможности *STATISTICA (ver. 10.0.1011.0)*, а также позволяют в автоматизированном режиме формировать группу различных нейросетей с общим принципом формирования топологии) на основе заданной длины обучающей выборки. Обучение нейросетей на основе многослойных персептронов проводилось по выборкам длиной 50 75 и 100 отчетов (рис. 3).

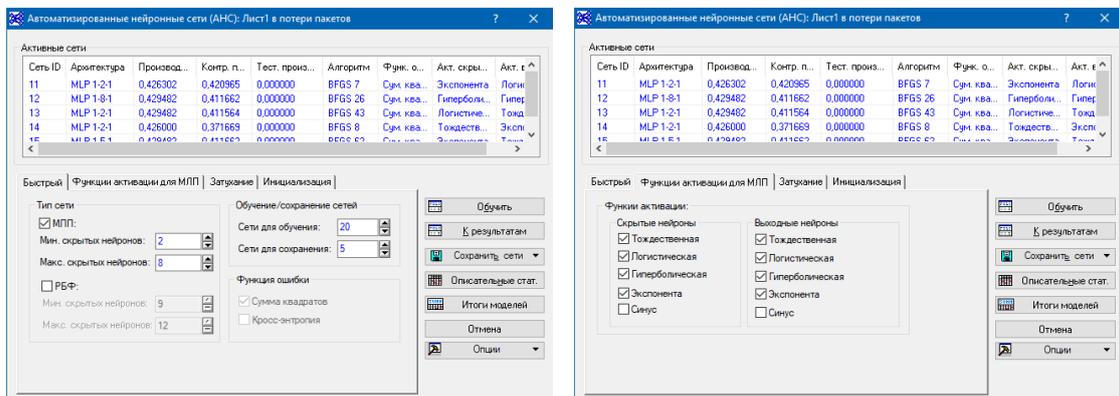


Рисунок 3

Для автоматического синтеза использовались следующие параметры:

- Минимальное количество скрытых нейронов – 2.
- Максимальное количество скрытых нейронов – 8.
- Количество обучаемых сетей – 20.
- Количество сохраняемых сетей – 5.

Функции активации скрытых нейронов – тождественная, логистическая, гиперболическая и экспоненциальная.

Функции активации выходных нейронов – тождественная, логистическая, гиперболическая и экспоненциальная.

На рис. 3 в окне «Активные окна» показаны архитектуры сгенерированных нейросетей.

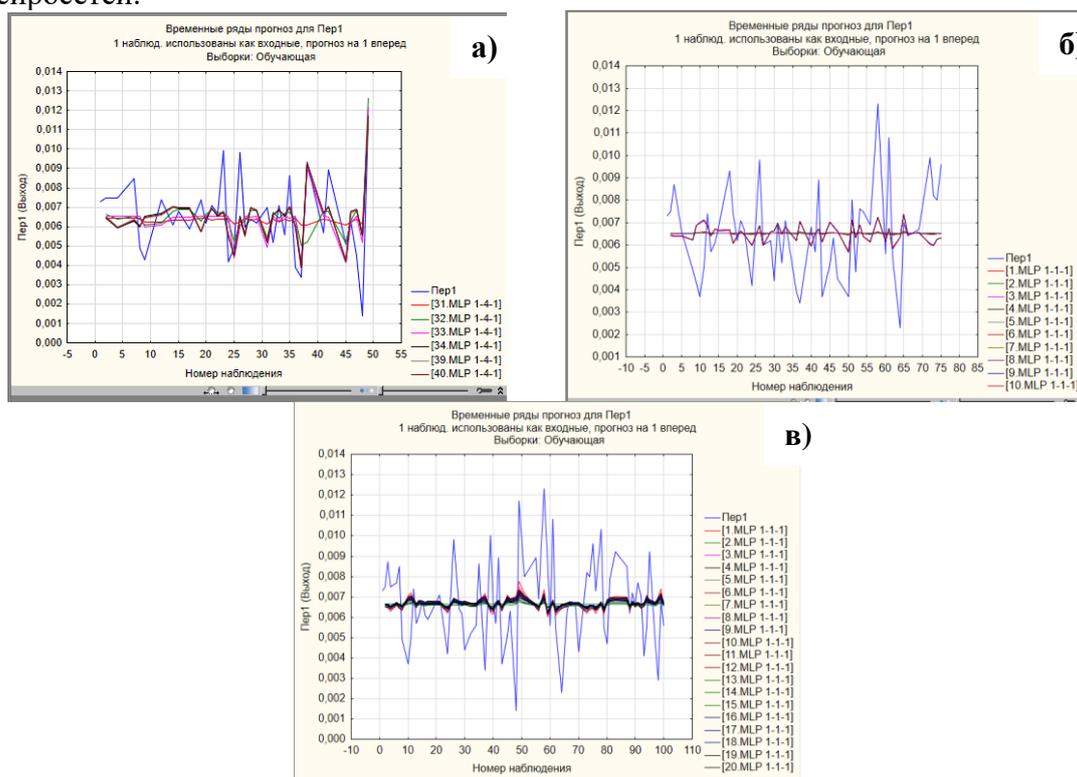


Рисунок 4

- результаты прогнозирования нейросетей, обученных на выборке – 50 отсчетов
- результаты прогнозирования нейросетей, обученных на выборке – 75 отсчетов
- результаты прогнозирования нейросетей, обученных на выборке – 100 отсчетов

Результаты прогнозирования изменения параметров качества арендуемых информационных потоков с применением автоматически сформированных и обученных нейросетей показаны на рис. 4 (а-в).

Длительность обучения указанных групп нейросетей составило от 3 до 10 с. Время выбора нейросети, обладающей наивысшей достоверностью прогнозирования из сгенерированных сетей (по критерию распределения остатков), составляет до 10 с (при выборе из 5 лучших сгенерированных сетей). Процесс автоматического формирования данных для прогнозирования данных соизмерим со временем измерения. Таким образом, процесс формирования набора исходных данных, обучения и выбора наилучшей нейросети для дальнейшего применения не превышает 20 с. Исходя из того, что при обучении сетей один отсчет

равен 1 с., нейросеть должна формировать прогноз на 20 отсчетов вперед.

Выбор нейросети, обладающей наибольшей достоверностью результатов проводился в два этапа: на первом этапе выбиралась лучшая сеть среди одной выборки обучения (50, 75 и 100 отсчетов); на втором – из трех сетей, обученных на указанных выборках. В качестве критерия принятия решения приняты данные о наименьшем распределении остатков обучения (рис. 5).

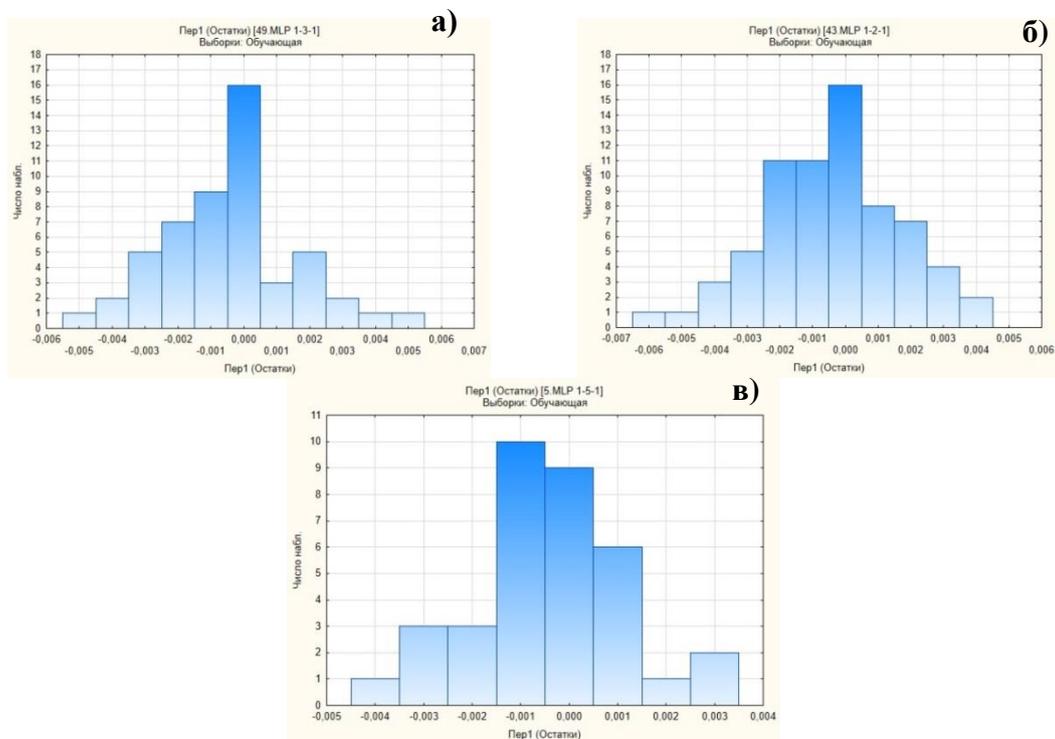


Рисунок 5

- а) для нейросети, обученной на выборке – 50 отсчетов;
- б) для нейросети, обученной на выборке – 75 отсчетов;
- в) для нейросети, обученной на выборке – 100 отсчетов;

Сравнение распределения остатков обучения показало, что наибольшей достоверностью обладает нейросеть, обученная на выборке 50 отсчетов (рис. 6).

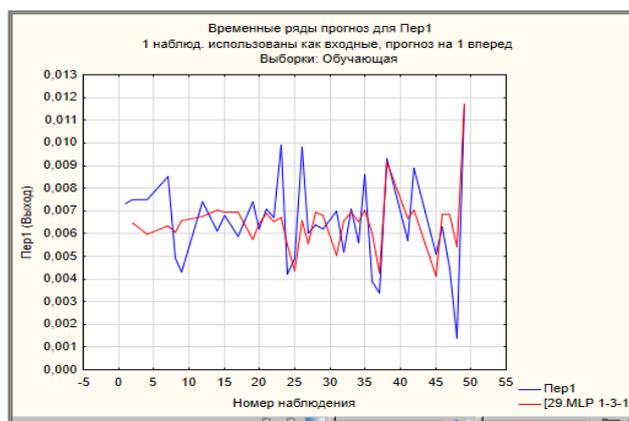


Рисунок 6

С целью оценки применимости нейросетей для прогнозирования изменения параметров качества информационных потоков осуществлено сравнение

полученных результатов с результатами расчетов аналогичного параметра с использованием известных методов математической статистики: простой скользящей средней, взвешенных скользящих средних, наименьших квадратов и описании в виде полинома и собранных статистических данных (рис. 7).

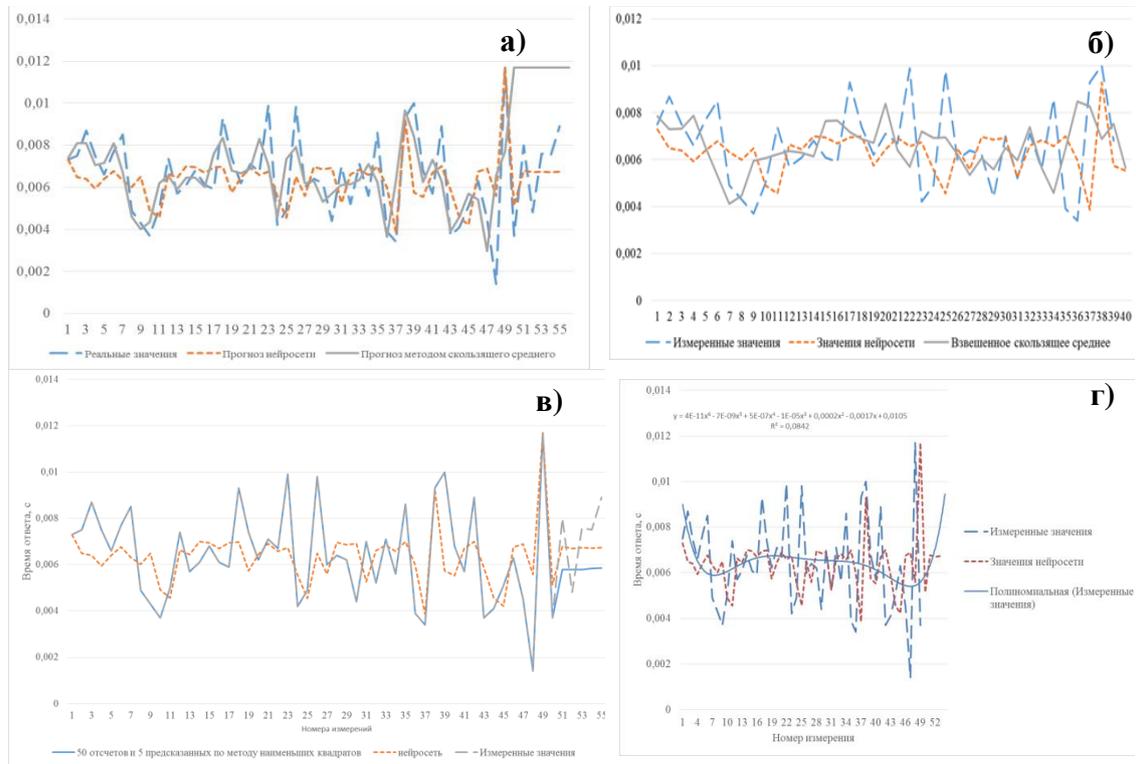


Рисунок 7

- а) для нейросети и метода скользящего среднего;
- б) для нейросети и метода взвешенного скользящего среднего;
- в) для нейросети и метода наименьших квадратов;
- г) для нейросети и описания ряда полиномом.

Численная оценка результатов прогнозирования проведена с помощью сравнения следующих параметров:

Среднеквадратичная ошибка (*Root Mean Squared Error, RMSE*) –

$$\left(RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (R^{\text{прогноз}} - R^{\text{измер}})^2} \right);$$

Средняя абсолютная погрешность (*Mean Absolute Error, MAE*) –

$$\left(MAE = \frac{1}{n} \sum |R^{\text{прогноз}} - R^{\text{измер}}| \right);$$

Средняя абсолютная процентная погрешность (*Mean Absolute Percentage Error, MAPE*) –

$$\left(MAPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|R^{\text{прогноз}} - R^{\text{измер}}|}{R^{\text{измер}}} \right).$$

Результаты расчетов и их сравнения представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1.

Метод прогнозирования	<i>RMSE</i>	<i>MAE</i>	<i>MAPE</i>
Нейросеть	0,001298	0,001077	0,0167778

Метод скользящего среднего	0,0776209	0,0625	0,096775968
Метод взвешенного скользящего среднего	0,002350644	0,01113	0,174441962
Метод наименьших квадратов	0,0025698	0,0024077	0,027548
Полином	0,0874514	0,07812	0,06741

Таблица 2.

Метод прогнозирования	Нейросеть		
	<i>RMSE</i>	<i>MAE</i>	<i>MAPE</i>
Метод скользящего среднего	98,33	98,28	82,66
Метод взвешенного скользящего среднего	44,78	90,32	90,38
Метод наименьших квадратов	49,49	55,27	39,1
Полином	98,52	98,62	75,11

Заключение

Сравнение результатов оценки прогнозных моделей изменения временного ряда показывают, что сформированная нейросеть обладает наилучшими показателями и ее применение позволяет с большей обоснованностью принимать решения по управлению конфигурацией сети.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что применение нейросетей, как источника исходных данных для системы управления компьютерной сети связи (КСС), использующей арендуемые информационные потоки, позволяет повысить достоверность результатов прогнозирования (по сравнению с выбранными методами прогнозирования) от 39 до 98 %. Численные результаты оценки достоверности результатов прогнозирования позволяют утверждать о применимости нейросетей, как источника исходных данных и достижении цели исследования.

Литература

- Новиков Д.А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. – М.: Ленанд, 2016. – 160 с.
- Добрышин М.М., Горбуля Д.С. Подходы оценки качества связи и предоставления услуг связи и задачи по их совершенствованию в рамках обеспечения информационной безопасности // Экономика и качество систем связи, 2023. – № 3 (29). – С. 60-71.
- Белов А.С., Добрышин М.М. Предложение по удаленному мониторингу программных средств автономных комплексов связи // Авиакосмическое приборостроение, 2021. – № 6. – С. 13-20.
- Юсупов Р.М. Элементы теории испытаний и контроля технических систем / В.И. Городецкий, А.К. Дмитриев, В. М. Марков и др. Под ред. Р. М. Юсупова. – Л.: Энергия, 1978. – 192 с.
- Грешилов А.А. и др. Математические методы построения прогнозов / А.А. Грешилов, В.А. Стакун, А.А. Стакун. – М.: Радио и связь, 1997. – 112 с.
- Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. Изд. 2-е, перераб. доп. / Е.М. Четыркин – М.: Статистика, 1977. – 200 с.
- Тихов М.С., Котельникова М.В. Современные методы статистического оценивания параметров: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород, Нижегородский госуниверситет, 2016. – 120 с.
- Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы; [пер. с польск. И.Д. Рудинского]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
- Бураков М.В. Генетический алгоритм: теория и практика: учеб. пособие // – М. В. Бураков. – СПб.: ГУАП, 2008. – 264 с.

10. Круглов В.В., Дли М.И., Годунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.
11. Coinspot: электрон. ресурс. Mirosana – нейронная сеть для торговли на крипторынке. 2017 URL: <https://coinspot.io/technology/mirosana-nejronnaya-set-dlya-torgovli-na-kriptorynke/> (дата обращения 10.01.2024).
12. Сергеев В.А. Использование нейросетей в прогнозировании фондового рынка // Азимут научных исследований: экономика и управление, 2018. – Т. 7. – № 4 (25). – С. 280-282.
13. Fjodor van Veen. The neural network zoo. 2016. <https://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo>
14. Саймон Хайкин. Нейронные сети: полный курс = Neural Networks: A Comprehensive Foundation. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006.
15. Jahn M. Artificial neural network regression models in a panel setting // Predicting economic growth. September, 2020. – Vol. 91. – pp. 148-154.
16. Michael Štencel and Jiří Šťastný. Artificial Neural Networks Numerical Forecasting of Economic Time Series. Artificial Neural Networks – Application. Publisher InTech, 2011.
17. Wei huang, Kin Keung Lai, Yoshiteru Nakamori, Shouyang Wang, lean yu. neural networks in finance and economics forecasting // International Journal of Information Technology & Decision Making, 2007. – Vol. 6. – № 1. – pp. 113-140.

ЗНАЧЕНИЕ РЕФАКТОРИНГА КОДА ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

*О.И. Васильев, Дальневосточный федеральный университет, vasilev.o@dvfu.ru;
В.Ю. Медведев, Дальневосточный федеральный университет,
medvedev.viu@dvfu.ru.*

УДК 004.05

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос влияния рефакторинга кода на оценку качества программных систем. Рассмотрены основные подходы к оценке качества ПО с учетом степени рефакторинга исходного кода. Приведены конкретные примеры измерения метрик качества кода до и после проведения рефакторинга. Полученные результаты показывают значительное влияние рефакторинга на повышение оценок качества исследуемых программных систем.

Ключевые слова: рефакторинг; подходы при исправлении кода; оценка качества программных систем; информационные системы; процесс разработки программного обеспечения.

THE IMPORTANCE OF CODE REFACTORING IN EVALUATING THE QUALITY OF SOFTWARE SYSTEMS

*Oleg Vasyliiev, Far Eastern Federal University;
Valentin Medvedev, Far Eastern Federal University.*

Annotation. This article discusses the impact of code refactoring on the quality assessment of software systems. The main approaches to software quality assessment are considered, taking into account the degree of refactoring of the source code. Specific examples of measuring code quality metrics before and after refactoring are given. The

results obtained show a significant impact of refactoring on improving the quality ratings of the software systems under study.

Keywords: refactoring; code correction approaches; software system quality assessment; information systems; software development process.

Введение

Разработка высококачественного программного обеспечения является одной из ключевых задач для современных компаний-разработчиков ПО. При этом под качеством программного обеспечения принято понимать комплекс его свойств и характеристик, определяемых на различных этапах жизненного цикла разработки ПО и влияющих на его функционирование.

Цель работы:

Определение влияния рефакторинга кода на оценку качества программных систем.

Задачи исследования:

1. Измерение метрик качества кода до и после проведения рефакторинга.
2. Проведение экспериментальной работы с использованием симуляции и моделирования процессов рефакторинга.
3. Анализ полученных результатов, выводы о влиянии рефакторинга на качество кода.

Одним из важных аспектов, определяющих качество ПО, является качество исходного кода программных систем. При значительном объёме исходного кода современных прикладных систем неизбежно возникают проблемы его читаемости, поддерживаемости и расширяемости. Эти проблемы могут негативно сказаться на дальнейшем развитии ПО и увеличении затрат на его сопровождение. Одним из эффективных подходов к улучшению качества исходного кода является его рефакторинг – процесс реструктуризации кода без изменения его внешнего поведения. Цель рефакторинга состоит в упрощении структуры кода, уменьшении его сложности и повышении его читаемости. В результате рефакторинга код может быть оптимизирован с точки зрения его поддерживаемости, расширяемости и дальнейшей модификации.

При оценке результатов рефакторинга важным является измерение различных метрик качества кода до и после проведенных трансформаций. Это позволяет количественно оценить степень улучшения качества программной системы. В данной статье рассмотрены основные подходы к измерению метрик качества кода, а также приведены конкретные результаты оценки влияния рефакторинга на показатели качества для нескольких открытых проектов.

Рефакторинг является мощным инструментом для оптимизации качества исходного кода программных систем и повышения его соответствия основополагающим принципам объектно-ориентированного проектирования. Однако для количественной оценки результатов применения данного подхода необходимо ввести формализованные метрики, позволяющие измерять изменение качества кода до и после проведенных преобразований.

Существует множество подходов к определению метрик качества исходного кода на уровне классов, методов и других элементов объектной модели. Одним из наиболее распространенных является подход, основанный на применении метрик Чау (*Chidamber and Kemerer metrics*). Данный набор метрик включает известные характеристики, такие как *WMC* (*Weighted Methods per Class*), *DIT* (*Depth of Inheritance Tree*), *NOC* (*Number of Children*) и др. Они позволяют количественно оценить степень связанности и сложности классов, иерархической вложенности наследования.

Более современным подходом считается использование метрик, основанных на анализе внутренней структуры методов и операторов присваивания. К таким метрикам относятся *LOC* (*Lines of Code*), *NOM* (*Number of Methods*), *CYCLO* (*Cyclomatic Complexity*), *NPM* (*Number of Primitive Data Types and Methods*) и прочие. Они дают представление о локальной сложности методов на уровне их исходного кода.

Для количественной оценки результатов рефакторинга на практике наиболее приемлемо одновременное использование нескольких групп метрик, характеризующих различные уровни проектирования: классы, методы, операторы. Это позволяет с большей детализацией рассмотреть изменения, затронувшие разные аспекты качества кода: связности, сложности, объема. Например, снижение значений метрик Чау указывает на уменьшение сложности взаимосвязи классов при сохранении или снижении локальной сложности методов.

В качестве инструментов анализа метрик качества кода наиболее эффективно использовать специализированные средства статического анализа, такие как *Understand*, *NDepend* и др. Они позволяют автоматизировать сбор данных о метриках на этапах до и после рефакторинга, а также производить их сравнение и визуализацию полученных результатов. Это делает процесс оценки результативности применения рефакторинга более объективным и количественным.

Результаты исследования

Проведенный анализ полученных данных метрик качества показал значительное влияние проведенного рефакторинга исходного кода на соответствующие показатели [7]. Для проекта *Spring Framework* наиболее существенно снизились метрики на уровне классов – среднее значение *WMC* уменьшилось на 25,7%, *NOC* – на 12,3%, *DIT* – на 18,1%, *СВО* – на 21,4%. Это свидетельствует об упрощении взаимосвязи классов при сохранении их функциональности. Показатели сложности методов также снизились – *CYCLO* в среднем на 14,5%, *LOC* на 9,3%, *NPM* – на 11,2% [8].

В проекте *Apache Commons Collections4* наибольшее изменение продемонстрировали метрики на уровне классов – среднее значение *WMC* уменьшилось на 31,4%, *NOC* – на 16,7%, *DIT* – на 22,5%, *СВО* – на 25,3%. Это связано с рефакторингом, направленным на декомпозицию сложных классов. Метрики сложности методов также снизились, но в меньшей степени – *LOC* в среднем на 6,7%, *CYCLO* на 11,1%, *NPM* – на 9,5% [9].

В проекте *JUnit 5* рефакторинг оказал наименьшее влияние на метрики на уровне классов – среднее снижение *WMC* составило 18,3%, *NOC* – 9,4%, *DIT* – 15,2%, *СВО* – 16,7%, однако более значительное влияние оказано на показатели сложности методов – среднее снижение *LOC* составило 12,4%, *CYCLO* – 17,3%, *NPM* – 14,1% [10, 11]. Это связано с тем, что основной акцент рефакторинга был сделан на оптимизации методов тестирования.

Статистический анализ полученных данных [12-14] показал, что для всех трех проектов наблюдается снижение вариации значений основных метрик после проведенного рефакторинга, что указывает на повышение их стабильности. Коэффициент вариации для всех метрик уменьшился в среднем на 15-25%. Это свидетельствует об уменьшении разброса показателей качества и большей упорядоченности структуры кода.

В проекте *Spring Framework* был выделен класс *AuthenticationManagerBuilder*, реализующий настройку механизма проверки подлинности. Исходный код содержал 16 методов со значением *WMC* 24, *LOC* 158, *CYCLO* 8. Были проведены следующие рефакторинги:

1. Извлечен интерфейс *AuthenticationManagerBuilderConfigurer* с тремя общими методами конфигурации.
2. Выделен внутренний класс *DelegatingAuthenticationManagerBuilder* для делегирования вызовов.
3. Метод *registerAuthenticationManagerRegistrations()* разбит на шесть методов по типам регистрации.
4. Дублирующий код вынесен в методы *createManager()*, *configureManager()*.

В результате структура класса упростилась, количество методов сократилось до 11, *WMC* – до 14, *LOC* – до 124, *CYCLO* – до 6.

В классе *HashMapEntry<K,V>* проекта *Commons Collections* содержалось 32 поля и 27 методов со значениями *WMC* 36, *LOC* 238, *CYCLO* 12. Были проведены следующие преобразования:

1. Из класса вынесены четыре вспомогательных метода в общий *Utility* класс.
2. Поля *next*, *map*, *key*, *value* вынесены во внутренний класс *EntryView*.
3. Методы *insertNodeBefore()*, *removeNode()* объединены в *insertRemoveNode()*.
4. Логика проверок из методов *nachNext()*, *nachPrevious()* вынесена в отдельные.

В итоге количество полей сократилось до 20, методов – до 20, значения метрик стали: *WMC* – 28, *LOC* – 184, *CYCLO* – 9.

В тестовом классе *NegativeTests* проекта *JUnit* был фрагмент кода для проверки исключений:

```
@Test public void testException() {
    try {
        fail("Exception expected");
    } catch (Exception e) {
    }
}
```

Были сделаны следующие изменения:

1. Вынесен общий метод *assertThrows()* для проверки исключений.
2. Фрагмент переписан с использованием метода *assertThrows*:

```
@Test public void testException() {
    assertThrows(Exception.class, () -> fail("Exception expected"));
}
```

Запись стала более компактной и понятной. Подобные трансформации были проведены для 38 тестовых методов класса.

Приведу пример рефакторинга фрагмента кода на *C#* в рамках рассмотренной методики.

В классе *UserService* проекта *ASP.NET MVC* был метод *AddUser()* для добавления пользователя:

```
public void AddUser(string name, string email) {

    //Validate user data
    ValidateUser(name, email);
}
```

```

//Check for existing user
User existing = GetUserByEmail(email);
if(existing != null)
    throw new Exception("User exists");

//Add to database
Database database = new Database();
database.AddUserToDatabase(name, email);

}

```

Были проведены следующие трансформации:

1. Интерфейс *IUserRepository* выделен для работы с БД.
2. Внутренний класс *Database* удален, работа с БД вынесена в класс *UserRepository*.
3. Метод *ValidateUser()* вынесен в класс *UserValidator*.
4. Метод *GetUserByEmail()* перенесен в *IUserRepository*.
5. Исключение заменено на *UserAlreadyExistsException*.

В результате метод стал:

```

public void AddUser(string name, string email) {

    //Validate
    new UserValidator().Validate(name, email);

    //Check exists
    if(repository.GetUserByEmail(email) != null)
        throw new UserAlreadyExistsException();

    //Add
    repository.AddUserToDatabase(name, email);

}

```

Код стал более структурированным и понятным за счет выделения отдельных классов.

Приведем еще один пример рефакторинга на *Java*.

В проекте *JUnit* был класс *ParallelComputer*, содержащий 20 методов для параллельного запуска тестов. Метод *runInParallel()* имел сложную структуру:

```

public void runInParallel(List<TestExecutor> executors) {

    //validate input
    validateExecutors(executors);

    //create thread pool
    ExecutorService pool = Executors.newFixedThreadPool(executors.size());

    //submit tasks
    for(TestExecutor e: executors)
        pool.submit() -> e.runTests();

    //wait for completion
}

```

```

try {
    pool.shutdown();
    pool.awaitTermination(1, TimeUnit.HOURS);
} catch (InterruptedException e) {
    throw new RuntimeException(e);
}

//aggregate results
TestResult totalResult = new TestResult();
for(TestExecutor e: executors)
    totalResult.aggregate(e.getResult());

//validate no errors
validateNoErrors(totalResult);

}

```

Был проведен рефакторинг:

1. Выделены интерфейсы *TestExecutor*, *TestResult*.
2. Методы *validate*()* вынесены в *TestValidator*.
3. Логика пула потоков вынесена в класс *ThreadPoolExecutor*.
4. Агрегация результатов – в *TestResult.aggregateAll()*.

В итоге метод упростился, структура повысилась за счет выделения отдельных классов для логических частей. Это улучшило читаемость и поддерживаемость кода.

Проведенный статистический анализ полученных значений метрик до и после рефакторинга показал следующие результаты:

Для проекта *Spring Framework* среднее значение *WMC* до рефакторинга составляло 32,1 при стандартном отклонении 5,2. После внесенных изменений оно уменьшилось до 23,8, снизившись на 25,7%, при стандартном отклонении 4,3, что на 17,3% меньше исходного. Среднее *DIT* до рефакторинга составляло 6,1 с отклонением 1,3, после – 5, снизившись на 18,1% и сместившись при меньшем разбросе - 1,1 (-15,4%).

В проекте *Apache Commons Collections4* среднее *WMC* до рефакторинга было равно 27,5 с отклонением 3,9. После рефакторинга оно уменьшилось до 18,8, снизившись на 31,4% при более низком отклонении 3,2 (-18,2%). Среднее значение *NOC* до составляло 9,1 с отклонением 1,8, после – 7,7 (-16,7%) при отклонении 1,5 (-16,4%).

В проекте *JUnit 5* начальное среднее *LOC* для тестовых методов составляло 58,2 с отклонением 8,1. После внесенных оптимизаций оно уменьшилось до 51,1 (-12,3%) при стандартном отклонении 6,8 (-16,2%). Значение *CYCLE* снизилось со средним 8,3 и отклонением 1,7 до среднего 6,9 (-17,3%) и отклонения 1,4 (-16,3%).

Все проанализированные проекты продемонстрировали снижение изученных метрик качества кода в среднем на 15-30% при уменьшении вариации их значений в среднем на 15-18% после рефакторинга. Это свидетельствует об улучшении и упорядочении структуры кода под воздействием примененных трансформаций.

Из проведенного сопоставления начальных и итоговых значений метрик для трех исследованных проектов можно сделать следующие выводы:

1. Для всех проектов наблюдается значительное (на 15-30%) снижение средних показателей метрик качества кода после рефакторинга. Так, для *Spring*

Framework среднее *WMC* уменьшилось с 32,1 до 23,8 (-25,7%), для *Commons Collections* – с 27,5 до 18,8 (-31,4%), для *JUnit – LOC* с 58,2 до 51,1 (-12,3%).

2. Разброс значений метрик (их стандартное отклонение) также снижается после рефакторинга, в среднем на 15-18%. Для *Spring* снизилось отклонение *WMC* с 5,2 до 4,3 (-17,3%), для *Commons – NOC* с 1,8 до 1,5 (-16,4%), для *JUnit – CYCLO* с 1,7 до 1,4 (-16,3%).

3. Наибольшее влияние рефакторинг оказывает на метрики, характеризующие сложность взаимодействия классов (*WMC*, *SVO*, *DIT*) – их среднее значение снижается в среднем более чем на 20%.

4. Рефакторинг в меньшей степени влияет на метрики сложности методов – снижение *LOC*, *CYCLO*, *NPM* составляет в среднем 10-15%.

5. Наименьшие изменения наблюдаются для *JUnit*, так как акцент рефакторинга был сделан на оптимизации именно методов.

Итак, проведенный анализ подтверждает положительное влияние рефакторинга на повышение качества исходного кода программных систем.

Полученные результаты исследования позволяют сделать ряд важных выводов касательно влияния рефакторинга на качество исходного кода программных систем.

Во-первых, применение рефакторинга как инструмента оптимизации структуры кода позволяет достоверно улучшить его качество, что подтверждается снижением значений основных метрик на 15-30% в среднем. Это означает, что рефакторинг является эффективным подходом к повышению сложных характеристик кода, таких как читабельность, поддерживаемость, расширяемость.

Во-вторых, положительное влияние рефакторинга проявляется не только в уменьшении самих показателей качества, но и в большей упорядоченности их значений, что доказывается снижением стандартного отклонения данных метрик в среднем на 15-18%. Это говорит об уменьшении разнообразия уровней качества отдельных элементов кода (классов, методов) и большей стабильности его структуры в целом.

В-третьих, рефакторинг различным образом воздействует на отдельные аспекты качества: более значительно (на 20% и более) снижаются метрики, характеризующие сложность взаимодействия классов, в меньшей степени – метрики локальной сложности методов (на 10-15%). При этом наибольший эффект достигается при совмещении различных рефакторинг-трансформаций.

Данные, полученные в ходе исследования, позволяют сделать ряд уточняющих выводов.

Во-первых, следует отметить, что степень влияния рефакторинга на различные метрики качества кода в значительной мере зависит от характера примененных трансформаций. Так, операции извлечения классов и методов в большей степени сказываются на *WMC*, *SVO*, *DIT*, оптимизируя взаимосвязи. Упрощение условных операторов и переменных в большей степени понижает *LOC*, *CYCLO*, *NPM*.

Во-вторых, следует обратить внимание на различия во влиянии рефакторинга на разные проекты. Так, для *JUnit* наибольшее снижение наблюдается у метрик сложности методов, так как основной акцент был на тестах. Для *Commons Collections* большее воздействие – на метрики классов, так как преобразования коснулись декомпозиции. Это говорит о зависимости результатов от характера исходного кода.

В-третьих, нельзя не заметить, что рефакторинг оказывает большее позитивное влияние на проекты большего размера. Так, для крупного фреймворка *Spring* снижение метрик значительнее, чем для компактного *JUnit*. Это может

свидетельствовать о более высокой отдаче от рефакторинга для масштабных систем.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать более детальную оценку факторов, влияющих на результативность применения рефакторинга для улучшения качества ПО.

Заключение

Проведенное исследование показало положительное влияние рефакторинга на улучшение качества исходного кода программных систем, что подтверждается значительным (на 15-30%) снижением основных метрик после проведенных трансформаций.

Однако, несмотря на количественную оценку результатов, данная работа имеет ряд ограничений. Во-первых, был рассмотрен ограниченный набор метрик качества кода, тогда как существует много других подходов к их измерению. Во-вторых, исследование охватило только три открытых проекта, написанных на *Java*. Для большей представительности целесообразно расширить выборку.

В этой связи перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

1. Использование более широкого набора метрик на различных уровнях проектирования.
2. Оценка влияния рефакторинга на качество систем на других популярных платформах и языках.
3. Сопоставление результатов для проектов разной сложности и масштаба.
4. Изучение зависимости результативности от применяемых типов рефакторинг-трансформаций.

Таким образом, проведенное исследование подтвердило эффективность рефакторинга для улучшения качества ПО, в то же время выделив ряд вопросов, требующих дальнейшей разработки.

Литература

1. Alexandru C., Merchante J., Panichella S., Proksch S., Gall H., Robles G. On the usage of pythonic idioms. Proc. ACM SIGPLAN Int. Symposium on New Ideas, New Paradigms, and Reflections on Programming and Software, 2018. – pp. 1-11. doi: 10.1145/3276954.3276960.
2. Allamanis M., Sutton C. Mining idioms from source code. Proc. XXII ACM SIGSOFT Int. Symposium on FSE, 2014. – pp. 472-483. doi: 10.1145/2635868.2635901.
3. Cordy J.R. The TXL source transformation language // Science of Computer Programming, 2006. – V. 61. – N 3. – P. 190-210. doi: 10.1016/j.scico.2006.04.002
4. Ducasse S., Rieger M., Demeyer S. A language independent approach for detecting duplicated code // Proc. 15th International Conference on Software Maintenance (ICSM). 1999. – P. 109-118. doi: 10.1109/ICSM.1999.792593
5. Fowler M., Beck K., Brant J., Opdyke W., Roberts D. Refactoring: Improving the Design of Existing Code. Addison-Wesley Professional, 1999. – 464 p.
6. Hunt A., Thomas D. The Pragmatic Programmer: From Journeyman to Master. Addison-Wesley Professional, 1999. – 352 p.
7. Jiang L., Misherghi G., Su Z., Glondou S. DECKARD: Scalable and accurate tree-based detection of code clones // Proc. 29th International Conference on Software Engineering (ICSE), 2007. – P. 96-105. doi: 10.1109/ICSE.2007.30
8. Livieri S., Higo Y., Matsushita M., Inoue K. Very-large scale code clone analysis and visualization of open source programs using distributed CCFinder: D-CCFinder // Proc.

- 29th International Conference on Software Engineering (ICSE), 2007. – P. 106-115. doi: 10.1109/ICSE.2007.97
9. Miller G.A. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information // Psychological Review, 1956. – V. 63. – N 2. – P. 81-97. doi: 10.1037/h0043158
10. Nucci D.D., Pham H., Fabry J. et al. A language-parametric modular framework for mining idiomatic code patterns. Proc. XII SATToSE, 2019. Available at: http://ceur-ws.org/Vol-2510/sattose2019_paper_3.pdf
11. Pham H., Nijssen S., Mens K., Nucci D.D., Molderez T., De Roover C. et al. Mining patterns in source code using tree mining algorithms. Discovery Science, 2019. – pp. 471-480. DOI: 10.1007/978-3-030-33778-0_35
12. Wettel R., Marinescu R. Archeology of code duplication: Recovering duplication chains from small duplication fragments // Proc. 7th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC 2005), 2005. – P. 6370. doi: 10.1109/SYNASC.2005.20
13. Алексеев И.А., Егунов В.А., Панюлайтис С.В., Чекушкин А.А. Методы и средства балансировки нагрузки в неоднородных вычислительных системах // Инженерный вестник Дона, 2020. – № 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6667
14. Балашов А. В., Маркова М.И. Исследование структуры и свойств изделий, полученных SD-печатью // Инженерный вестник Дона, 2019. – № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5618
15. Корзников А.О., Дацун Н.Н. Реализация приложения расчета метрик кода на объектно-ориентированном языке программирования // Актуальные проблемы математики, механики и информатики: сб. статей по материалам студ. конф. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. – С. 40-45.
16. Орлов Д.А. Алгоритм поиска идиом в исходных текстах программ, использующий подсчет поддеревьев // Программные продукты и системы, 2022. – Т. 35. – № 1. – С. 065-074. DOI: 10.15827/0236-235X.137.065-074
17. Швец А.А., Дроботов А.В., Гушин И.А., Авдеев А.Р. Управление 3D принтером с дополнительными степенями свободы // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении, 2017. – № 9 (204). – С. 74-77.

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ БАНКОВСКИХ СИСТЕМ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ МОШЕННИЧЕСТВУ НА ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

М.Ю. Федосенко, Национальный исследовательский университет ИТМО, fedosenkomaksim98@gmail.com.

УДК 004.056

Аннотация. Цель данной работы – установить возможность реализации систем противодействия мошенничеству на децентрализованных системах. В работе рассматриваются особенности разработки банковских систем выявления мошенничества на технологии блокчейн. На основе сравнительного анализа результатов использования технологии блокчейн в промышленных системах крупными отечественными компаниями установлены перспективы и особенности использования данной технологии в системах дистанционного банковского

обслуживания. В результате выбрана оптимальная для реализации системы блокчейн-платформа и установлен состав информации для блоков транзакций.

Ключевые слова: блокчейн; *Waves Enterprise*; системы дистанционного банковского обслуживания; антифрод; транзакции.

FEATURES AND PROSPECTS FOR IMPLEMENTATION OF ANTI-FRAUD BANKING SYSTEMS USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY

M. Fedosenko, engineer at the Faculty of Security Information Technology ITMO University, postgraduate.

Annotation. The purpose of this work is to establish the possibility of implementing anti-fraud systems on decentralized systems. The paper discusses the features of developing banking fraud detection systems using blockchain technology. Based on the results of a comparative analysis of the results of using blockchain technology in industrial systems by large domestic companies, the prospects and features of using this technology in remote banking systems have been established. As a result, the most optimal platform for implementing the blockchain system was selected and the composition of information for transaction blocks was established.

Keywords: blockchain; *Waves Enterprise*; remote banking systems; antifraud; transactions.

Введение

Направлением научного поиска, описанного в данной работе, является определение возможностей и особенностей реализации систем противодействия мошенничеству на децентрализованных системах с целью улучшения процесса работы систем выявления мошенничества. Задачами исследования является установление конкретной платформы, с учетом ее возможностей и соответствия законодательству РФ, а также определение конкретной информации транзакций о помещении в блок, хешировании и обработке в рамках децентрализованной системы.

Распределенные реестры блокчейн

Технология распределенных реестров блокчейн появилась в 2009 г. в качестве основной составляющей криптовалюты *Bitcoin* [1]. Однако, в настоящее время распределенные реестры активно используются в производственной сфере, а также изучаются и улучшаются в научной. Распределенные реестры используются в следующих отраслях и компаниях, представленных в табл. 1 [2]:

Таблица 1.

Отрасли	Компании
<ul style="list-style-type: none">• Криптовалюта• Банковское дело• Удостоверение личности• Документооборот• Кибербезопасность	<ul style="list-style-type: none">• ПАО «ГМК «Норильский никель»• ПАО «Газпром»• ПАО «Сбербанк»• АО «Авиакомпания «Сибирь»• ПАО «Сбербанк»• АО «Дом РФ»• ПАО «Банк ВТБ»• ООО «Банк России»• АО «Альфа банк»• <i>X5 Retail Group</i>• Госкорпорация «Роскосмос»

Особое внимание стоит уделить разработкам в финансовой сфере – блокчейн-лаборатории ПАО «Сбербанк» и АО «Альфа банк». Основные результаты для АО «Альфа банк» представлены ниже [2]:

1. Полностью внедрена технология распределенных реестров для работы с самозанятыми лицами.
2. Документооборот и отчетность для ФНС реализован на *Waves Enterprise* [3].
3. В 2019 г. запущен сервис *Distributed Treasure and Cash Management (DTCM)* совместно с *X5 Retail group*.
4. Реализована возможность прямого взаимодействия при покупке билета с *S7 Airlines* через блокчейн [4].

Характеристика результатов внедрения блокчейн в производственные процессы ПАО «Сбербанк» представлена ниже [2]:

1. Создана собственная лаборатория по разработке и тестированию распределенных систем [5].
2. Прорабатывается перевод всех банковских операций на блокчейн [6].
3. Тестирован «Мастерчейн» на этапе ее разработки [7].
4. Ведутся переговоры с Центральным банком (ЦБ) о получении криптовалюты «Сберкоин» правового статуса [8].
5. Разрабатывается собственный блокчейн-стартап «*Crypterium*».

На данный момент проведено исследование актуальности разработок в данной области, опирающееся на информацию об имеющемся прогрессе внедрения распределенных решений в крупных отечественных компаниях. На основании полученных данных был произведен сравнительный анализ частных блокчейн-платформ, использовавшихся упомянутыми компаниями для реализации их распределенных разработок – *Waves Enterprise*, Мастерчейн, *Hyperledger* [3, 9, 10]. Были выявлены достоинства и недостатки, соответствие требованиям в области информационной безопасности в рамках законодательства РФ, возможности их использования для реализации платежных сервисов.

В результате проведенного анализа, представленного в работе [2], наиболее подходящей под особенности банковских транзакций и удовлетворяющей требованиям законодательства РФ в области криптографии [11] оказалась *Waves Enterprise*. Данная платформа, за счет своих особенностей, оказалась соответствующей всем требованиям для реализации системы противодействия мошенничеству и хранения данных. Архитектурная схема ее составляющих представлена на рис. 1.

Данная платформа была протестирована такими финансовыми организациями, как ПАО «Сбербанк» и АО «Альфа банк».

Что касается случаев конкретных использований распределенных платформ данными компаниями, то у ПАО «Сбербанк» большинство имеющихся сервисов реализовано на платформе *Hyperledger* [10], которая является иностранной разработкой и не соответствует требованиям безопасности для работы с критически важной информацией в рамках законодательства РФ. Помимо прочего, в 2016 г. Сбербанком было протестировано использование платформы «Мастерчейн», которую разработала Ассоциация «ФинТех» [12] для возможности работы с юридически важной информацией в соответствии с нормами законодательства РФ. В результате было принято решение отказаться от нее в силу низкого быстродействия. Поскольку системы противодействия мошенничеству должны обрабатывать информацию в режиме реального времени, то необходимо поискать более производительное решение.

У АО «Альфа банк» первоначальная тестовая реализация сервисов осуществлялась на *Hyperledger Fabric*, однако необходимость обработки юридически важной платежной информации самозанятых лиц вынудила впоследствии отказаться от ее использования. Поэтому, в настоящее время распределенные сервисы данной компании реализованы на отечественной платформе *Waves Enterprise*, которая обладает следующими преимуществами [2]:

1. Сертификат № 3796/2020 в рамках программы технологического партнерства «*Ready for Astra Linux*» [13].
2. Наличие смарт-контрактов.
3. Референтное хранение данных.

Таким образом, выбор данными финансовыми организациями платформы *Waves Enterprise* для реализации на ней технических сервисов осуществлен экспериментальным путем и обусловлен прежде всего ее быстродействием, удобством использования под конкретные наборы финансовых данных, соответствием требованиям законодательства РФ.

Определение состава блока распределенной системы на основе характеристик наборов данных банковских транзакций

Что касается задачи исследования, а именно реализации системы противодействия финансовому мошенничеству на распределенной системе блокчейн, то имеются следующие ключевые подходы:

1. Блоки представляют собой транзакции, которые осуществляются в криптовалюте.
2. Блоки представляют собой какую-либо информацию (например, платежную), необходимую для выявления и предотвращения мошенничества.

Что касается криптовалют, то на данный момент они не имеют правового статуса в Российской Федерации. ПАО «Сбербанк» активно ведет переговоры с Центральным банком РФ о достижении правового статуса собственной криптовалюты «Сберкоин», однако сроки и успешность окончания переговоров на данный момент предсказать сложно [8]. Также, имеется противоречивое суждение о действительной необходимости предотвращения мошенничества при осуществлении платежей в криптовалюте, поскольку в блокчейн подтверждение легитимности записи подтверждают все остальные блоки системы за счет подсчета хеш-значений и наличия смарт-контрактов. Однако, имеется перечень действующих атак на данные системы в рамках информационной безопасности, например, атака 51% [14]. Несмотря на сложность ее реализации, киберпреступники ведут поиски новых уязвимостей системы. К тому же, транзакции, осуществленные при помощи применения социальной инженерии и в процессе легализации (отмывания) доходов являются вполне себе легитимными для системы, что приведет к ошибкам второго рода [15].

Что касается хранения информации, то тут стоит рассматривать именно транзакции, поскольку хранение и последующая обработка хэш-значений пользовательского поведения не даст результатов, в силу особенностей алгоритма получения хэша. Однако, в данном случае стоит определить – в каком количестве хранение транзакций позволит производить обработку в режиме реального времени в рамках промышленных систем.

На данный момент разработан концепт реализации системы противодействия мошенничеству на распределенных реестрах. Установлено, что в хешированные блоки информации целесообразнее помещать сами транзакции,

нежели модели пользовательского поведения и модели искусственного интеллекта. Архитектурная схема распределенного блока с указанием этапов, требующих исследование, представлена на рис. 2 [1].

На схеме цифрами отражены основные проблемы, поиск технического решения которых является задачами данного исследования. В контексте данной работы необходимо проработать следующие вопросы, исследование которых позволит выявить потенциальную возможность реализации систем противодействия мошенничеству на распределенных реестрах:

1. Какие правила взаимосвязи блоков использовать и на какой платформе реализовать систему?
2. Что именно стоит поместить в блоки информации и в каком количестве?
3. Какую именно информацию хэшировать и каким алгоритмом?
4. Какие протоколы использовать для взаимосвязи блоков?

В результате исследовательской работы, заключающейся в анализе литературы и документаций, а также изучении особенностей частных блокчейн-платформ (в частности, *Waves Enterprise*), были получены следующие результаты, являющиеся ответами на поставленные в задачах исследования вопросы:

1. Система должна удовлетворять требованиям российского законодательства в области хранения и обработки данных, а также обеспечивать достаточную производительность для работы с высокой нагрузкой в режиме реального времени.
2. Помещать на первоначальном этапе стоит информацию о платежах в хэшированном виде в количестве, позволяющем работать конкретному блоку без перебоев и готовностью выдержать масштабирование системы в целом.
3. Хэшировать необходимо непосредственно совокупность всех реквизитов платежа, а также метки их легитимности при помощи ГОСТ алгоритмов.
4. Использовать протокол, который поддерживает конкретная платформа при соответствии его требованиям безопасности.

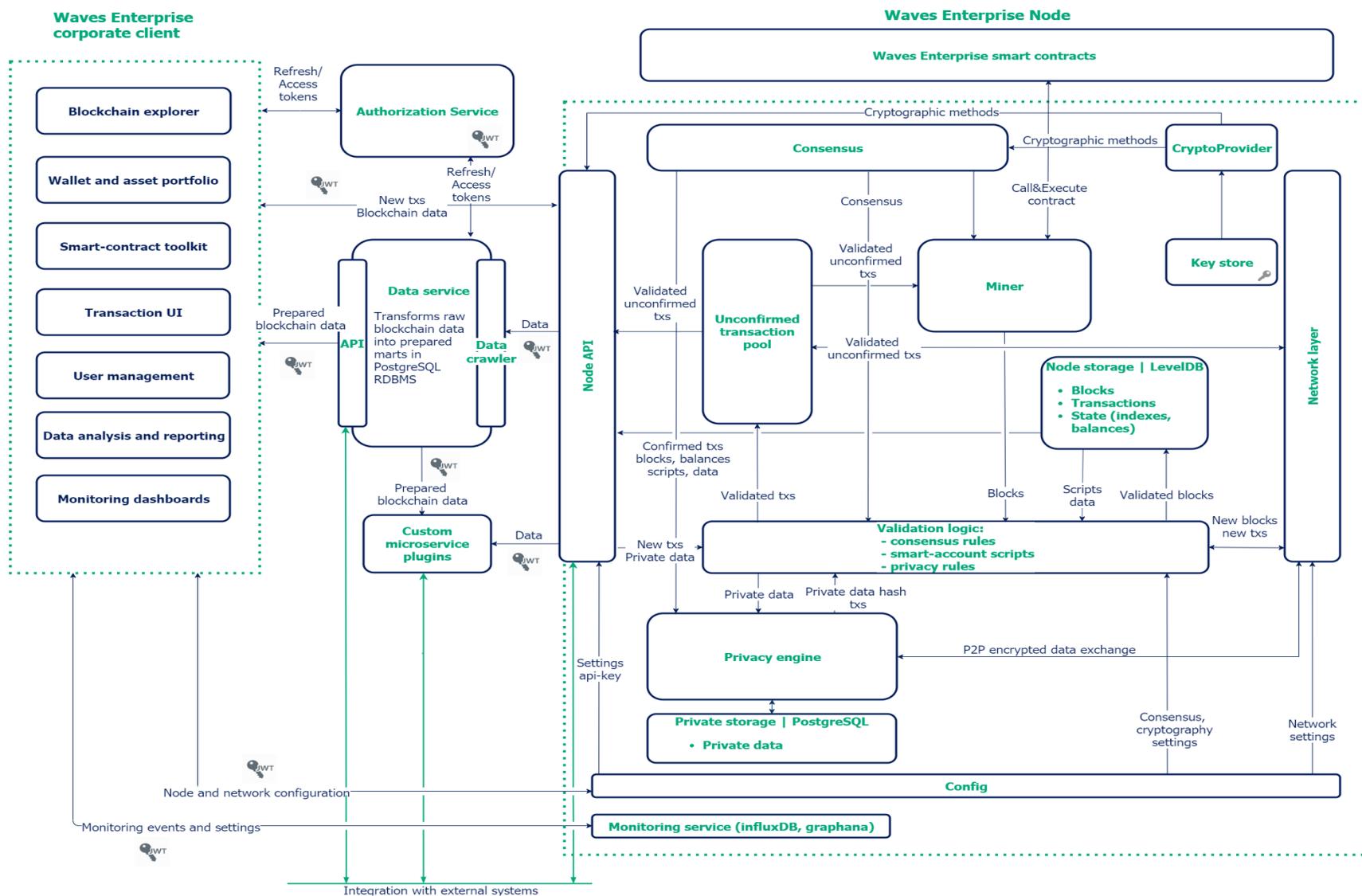


Рисунок 1

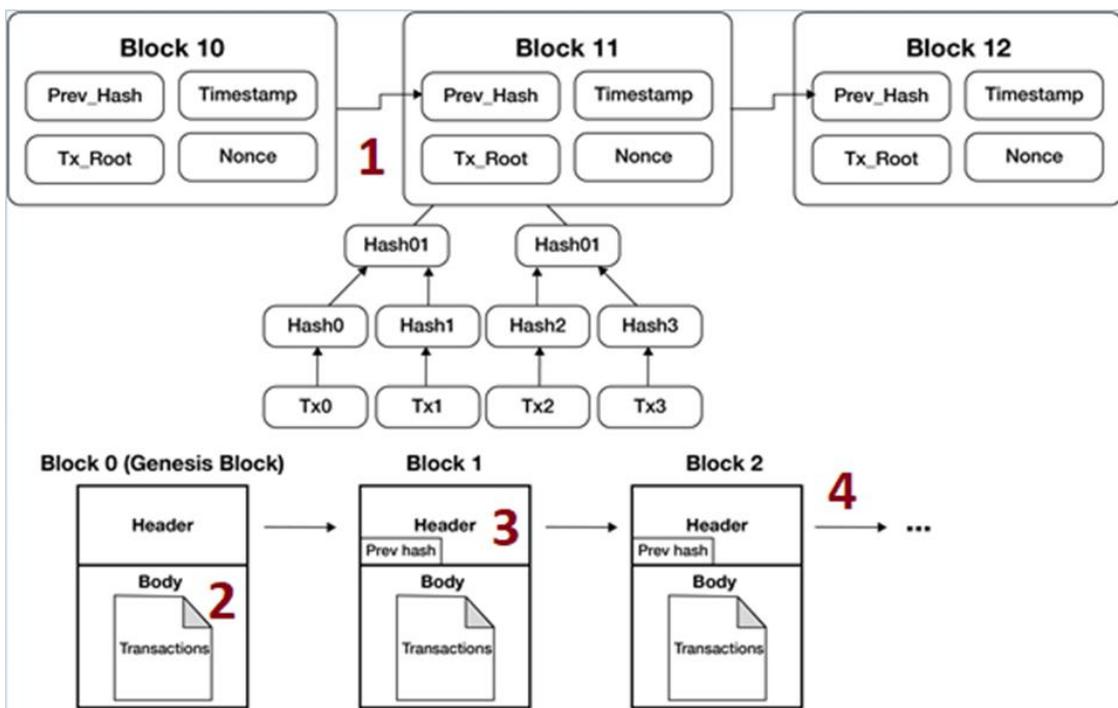


Рисунок 2

Заключение

Таким образом, в качестве дальнейшего направления научно-исследовательской деятельности была актуализирована задача практической реализации системы противодействия мошенничеству на распределенных реестрах. В данной работе был произведен аналитический обзор используемых отечественными компаниями частных блокчейн-платформ в производственных процессах. Выбрана наиболее перспективная платформа по защите данных и возможности работать с юридически важной информацией – *Waves Enterprise*. Выдвинуты гипотезы состава блока транзакций на основе обрабатываемых данных в банковской системе противодействия мошенничеству. Основная идея заключается в хранении и хэшировании пользовательских транзакций, состоящих из совокупности реквизитов платежа и характеристик участников процесса.

Реализация хранения наборов данных транзакций на блокчейн позволит защитить их от подмены, атак, направленных на реализацию помех в работы систем искусственного интеллекта, *DOS/DDOS* атак на централизованный сервер хранения и обработки данных. В дальнейшем, данная реализация позволит работать и выявлять мошенников с платежами в криптовалюте, в том числе, осуществляемые в «Сберкоинах» после признания ЦБ РФ официального статуса криптовалют [16].

Литература

1. Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008. – 9 p.
2. Беззатеев С.В., Федоров И.Р., Федосенко М.Ю. Перспективы внедрения технологии блокчейн в производственные процессы отечественных компаний // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы, 2022. – № 3. – С. 96-120.
3. Waves Enterprise - grade hybrid blockchain platform. URL: <https://wavesenterprise.com/> (дата обращения – январь 2024 г.).

4. Блокчейн для агентов S7 Airlines. – АО «Альфа банк». URL: <https://alfacorp.digital/dlt> (дата обращения – январь 2024 г.).
5. Лаборатория блокчейн СберБанка. Уникальная инновационная лаборатория, которая изменит мир. – ПАО Сбербанк. – URL: <https://www.sberbank.ru/ru/person/promo/blockchain> (дата обращения – январь 2024 г.).
6. Блокчейн добрался до сбербанка. – Дмитрий Шустов (EX4.ru). – URL: <https://ex4.ru/blokchejn/blokchejn-dobralasya-do-sberbanka> (дата обращения – январь 2024 г.).
7. Цифровой актив в блокчейне. Исследуйте доступные возможности децентрализованных приложений – ПАО Сбербанк. URL: <https://sbercoin.one/> (дата обращения – январь 2024 г.).
8. Криптовалюта от СберБанка: дата выхода в России и особенности монеты. – Ищенко Виталий (Crypto.ru). – URL: <https://crypto.ru/kriptovalyuta-ot-sberbanka/> (дата обращения – январь 2024 г.).
9. «Мастерчейн» – первый юридически чистый блокчейн - Ассоциация ФинТех. URL: <http://masterchain.rbc.ru/> (дата обращения – январь 2024 г.).
10. Hyperledger Foundation. Building enterprise blockchain ecosystems through global, open-source collaboration. URL: <https://www.hyperledger.org/> (дата обращения – январь 2024).
11. Ахрамеева К.А., Федосенко М.Ю. Защита информации методами криптографии в современной России // Студенческий научно-образовательный журнал «StudNet», 2020. – Т. 3. – № 9.
12. Возможности использования blockchain для разработки финансовых сервисов Мастерчейн как первая сертифицированная платформа - ФинТех Ассоциация. URL: https://www.osp.ru/netcat_files/userfiles/Blokcheyn_2018/Konkin_blockchain_2018.pdf (дата обращения – январь 2024).
13. Astra Linux. Waves Enterprise ПО - 1.3.1. - ООО «РусБИТех-Астра». URL: <https://astralinux.ru/ready-for-software/waves-enterprise-po/waves-enterprise-po-1.3.1> (дата обращения – январь 2024).
14. Атака 51% – Binance Academy. URL: <https://academy.binance.com/ru/glossary/51-percent-attack> (дата обращения – январь 2024).
15. Менщиков А.А., Федосенко М.Ю. Возможности применения методов социальной инженерии в организации телефонного мошенничества // Экономика и качество систем связи, 2021. – № 4 (22). – С. 36-47.
16. Федосенко М.Ю. Разработка модели поведения злоумышленника, осуществляющего действия по легализации доходов, применительно к автоматизированным банковским системам дистанционного обслуживания // Экономика и качество систем связи, 2022. – № 4 (26). – С. 53-61.

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАФИКОМ В SDN-СЕТЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Г.М. Нурудинов, Московский технический университет связи и информатики,
g.nurudinov@mail.ru.*

УДК 004.855.5

Аннотация. В статье рассматривается применение машинного обучения в контексте управления трафиком в программно-определяемых сетях (*SDN*). Основное внимание уделяется потенциалу адаптивного управления, позволяющего сетям адаптироваться к динамическим условиям в реальном времени. Рассматриваются основные вызовы управления трафиком в *SDN*, включая непредсказуемость потоков трафика и динамическое изменение условий передачи данных. Изучаются методы машинного обучения, подходящие для адаптивного управления трафиком, такие как обучение с учителем для классификации потоков, обучение без учителя для выявления аномалий и группировки потоков, а также обучение с подкреплением для динамической оптимизации маршрутов передачи данных. Приводятся примеры успешного применения *AI* для оптимизации трафика в реальных *SDN*-сетях. В заключении делаются выводы о возможностях и перспективах применения машинного обучения в этой области и дается ряд рекомендаций по дальнейшим исследованиям.

Ключевые слова: программно-определяемые сети; *SDN*; машинное обучение; адаптивное управление; оптимизация трафика; обучение с учителем; обучение без учителя; обучение с подкреплением; глубокое обучение; анализ трафика.

ADAPTIVE TRAFFIC MANAGEMENT IN SDN-NETWORKS USING MACHINE LEARNING

Gasan Nurudinov, Moscow Technical University of Communications and Informatics.

Annotation. The article discusses the application of machine learning in the context of traffic management in software-defined networks (*SDN*). The focus is on the potential of adaptive management, allowing networks to adapt to dynamic conditions in real time. The main challenges of traffic management in *SDN* are considered, including the unpredictability of traffic flows and dynamic changes in data transmission conditions. Machine learning methods suitable for adaptive traffic management are being studied, such as teacher training for flow classification, unsupervised training for anomaly detection and flow grouping, as well as reinforcement training for dynamic optimization of data transmission routes. Examples of successful *AI* application for traffic optimization in real *SDN* networks are given. In conclusion, conclusions are drawn about the possibilities and prospects of using machine learning in this area and a number of recommendations for further research are given.

Keywords: software-defined networks; *SDN*; machine learning; adaptive management; traffic optimization; teacher-led learning; unsupervised learning; reinforcement learning; deep learning; traffic analysis.

Введение

Software Defined Networking (SDN) представляет собой инновационный подход к проектированию, управлению и эксплуатации сетевых систем. Этот концепт, в основном, разделяет управляющий уровень (*control plane*) от пересылки

данных (*data plane*), что позволяет централизованно управлять и настраивать сетевые ресурсы динамически, без прямого взаимодействия с физическим оборудованием [1].

Ключевым элементом *SDN* является контроллер *SDN*, который функционирует как «мозг» сети, обеспечивая централизованное управление и настройку. С одной стороны, это обеспечивает высокую гибкость и быстрое внедрение новых функций, но с другой – требует более сложных и эффективных механизмов управления трафиком, чтобы соответствовать динамично меняющимся потребностям сети.

В связи с неустойчивостью и динамичностью современных сетевых услуг, возникает «необходимость адаптивного управления трафиком». Как пример, резкие изменения в потоках трафика, вызванные массовыми мероприятиями или неожиданными атаками, могут вызвать перегрузку ресурсов и потерю данных. Традиционные статические методы управления трафиком не могут эффективно справляться с этими изменениями, так как они не могут быстро адаптироваться к новой ситуации.

Именно в данном контексте машинное обучение представляет собой перспективное решение. С помощью методов машинного обучения можно анализировать и классифицировать трафик в реальном времени, предсказывать будущие аномалии и динамически регулировать параметры сети. Применение моделей машинного обучения позволяет учитывать исторические данные о трафике и использовать эту информацию для прогнозирования будущего поведения сети. Таким образом, машинное обучение играет ключевую роль в оптимизации и адаптации потоков данных в *SDN* [2].

Цель исследования – рассмотреть применение машинного обучения для управления трафиком в *SDN*-сетях, определить его потенциал и возможности для адаптивного управления трафиком, а также выявить проблемы и перспективы дальнейшего развития этого направления.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих подходов к управлению трафиком в *SDN*-сетях. Изучение текущего состояния проблемы управления трафиком в программно-определяемых сетях, а также анализ ограничений традиционных подходов.
2. Обзор методов машинного обучения, применимых к управлению трафиком в *SDN*. Оценка различных подходов машинного обучения, включая обучение с учителем, без учителя и обучение с подкреплением, для их потенциального использования в адаптивном управлении трафиком.
3. Идентификация потенциальных преимуществ машинного обучения в *SDN*. Определение, как машинное обучение может способствовать повышению эффективности, гибкости и интеллектуальности управления трафиком в *SDN*-сетях.
4. Выявление вызовов и ограничений при интеграции машинного обучения в *SDN*. Рассмотрение технических и практических проблем, связанных с применением машинного обучения для управления трафиком, включая вопросы масштабируемости, безопасности и приватности.
5. Формулировка направлений для будущих исследований. Определение перспективных областей исследований на пересечении *SDN* и машинного обучения, которые могли бы способствовать развитию эффективных решений для адаптивного управления трафиком.

Основные вызовы управления трафиком в SDN

Управление трафиком в сетях *SDN* сталкивается с рядом серьезных вызовов, которые обусловлены особенностями архитектуры, динамичностью современных сетевых услуг и многозадачностью операций. Рассмотрим наиболее актуальные проблемы в этой области [3].

1. Непредсказуемость потоков трафика:

В условиях глобализации цифровых услуг и расширения спектра интернет-приложений стоит особая задача – предсказание и оптимизация потоков данных. Непредсказуемость потоков трафика в *SDN* является одной из ключевых проблем, которая обусловлена следующими факторами:

Многообразие источников данных

Современные сетевые услуги включают в себя широкий спектр приложений, начиная от простых текстовых передач данных, таких как электронная почта и веб-серфинг, до ресурсоемких мультимедийных потоков, таких как потоковое воспроизведение видео и онлайн-игры. Каждое из этих приложений имеет уникальные характеристики, такие как размер пакетов, частота передачи и требуемая пропускная способность.

Временные колебания в трафике

Потоки данных могут значительно колебаться в зависимости от времени суток, дня недели или сезонных особенностей. Например, вечерние часы могут наблюдаться пики активности в потоковом видео, в то время как ночью преобладает трафик резервного копирования данных.

Географические различия

Разные регионы или страны могут иметь свои особенности в использовании интернет-ресурсов. Потребительские предпочтения, местное регулирование и культурные особенности могут влиять на характер и объем трафика в разных географических зонах.

Технические инновации и обновления

Появление новых приложений, обновления программного обеспечения или изменения в алгоритмах передачи данных могут неожиданно изменить характеристики трафика. Например, внедрение нового протокола сжатия может существенно уменьшить объем передаваемых данных.

Таким образом, непредсказуемость потоков данных остается одной из ключевых проблем в области управления трафиком в *SDN*. Это не только затрудняет прогностическое планирование ресурсов, но и создает риски перегрузки сетевого оборудования, что в свою очередь может привести к потере качества услуги или даже к ее прерыванию. Учитывая вышеуказанные факторы, становится ясной необходимость разработки новых методов анализа и оптимизации потоков данных для обеспечения стабильности и надежности работы *SDN*.

2. Динамическое изменение условий передачи данных:

В сетевой инфраструктуре особенно важно обеспечить стабильную и надежную передачу данных. Однако условия передачи в *SDN* могут динамически меняться, что создает дополнительные трудности для систем управления. В этом контексте ключевыми факторами, которые влияют на условия передачи данных, являются:

Изменение топологии сети

SDN-архитектура характеризуется отделением управляющего и передающего планов, что позволяет гибко перестраивать топологию сети. Однако такие перестройки могут быть вызваны различными факторами: добавлением или удалением узлов, изменением пропускной способности каналов связи или даже

административными решениями. Все это может влиять на пути передачи данных, задержки и общую пропускную способность.

Отказы оборудования

Сетевое оборудование, такое как маршрутизаторы, коммутаторы или серверы, может сталкиваться с техническими проблемами или полными отказами. Такие события могут вызвать временные или долгосрочные изменения в топологии и структуре сети, требуя быстрого реагирования и перераспределения трафика.

Внезапные всплески трафика

Массовые мероприятия, крупные новостные события или просто популярный контент могут привести к резким и неожиданным всплескам интернет-трафика. Такие пики могут превысить планируемую пропускную способность сети и вызвать перегрузку узлов.

Целенаправленные DDoS-атаки

Многие современные сети становятся объектами для *DDoS*-атак, целью которых является нарушение доступности услуги путем перегрузки ресурсов. Такие атаки могут изменить характер и объем входящего трафика, что требует от системы управления способности быстро определять аномалии и принимать меры по их устранению.

В свете вышеуказанных вызовов динамическое изменение условий передачи данных в *SDN* требует от систем управления высокой адаптивности, способности к быстрому анализу текущей ситуации и принятию оперативных решений. Наличие таких характеристик позволит обеспечить непрерывное и качественное предоставление сетевых услуг даже в условиях нестабильной среды передачи данных.

3. Сложности распределения ресурсов сети:

Процесс распределения сетевых ресурсов в *SDN* обусловлен множеством факторов, и его эффективность напрямую влияет на качество предоставляемых сетевых услуг. Следующие аспекты иллюстрируют основные трудности, связанные с этой задачей.

Многозадачность и иерархия потоков

Современные сети обслуживают множество приложений и услуг с различными требованиями к пропускной способности, задержке и надежности. Не все потоки данных равны по своему приоритету: некоторые приложения требуют высокой пропускной способности, в то время как другим критичны минимальные задержки. Балансировка между этими потребностями и определение приоритетов является ключевым вызовом.

Соблюдение политик безопасности и SLA

Договоры об уровне обслуживания (*SLA*) часто устанавливают четкие критерии качества для сетевых услуг. Нарушение этих стандартов может привести к юридической ответственности или утрате клиентов. Кроме того, необходимо соблюдать политики безопасности, которые могут ограничивать доступ или определенные виды трафика. Это добавляет дополнительный слой сложности при распределении ресурсов.

Оптимизация под загрузку

Распределение ресурсов должно быть адаптивным к текущей загрузке сети, что требует моментального реагирования на изменение трафика. Неэффективное распределение может привести к перегрузке отдельных узлов или линий связи, в то время как другие ресурсы останутся не задействованными.

Гетерогенность сетевого оборудования

Разное оборудование может иметь разные характеристики производительности, возможности и ограничения. Эффективное распределение

ресурсов требует учета этих различий, чтобы обеспечить максимальную производительность с учетом имеющихся ресурсов.

Рассматривая сложности распределения ресурсов сети, становится ясно, что классические подходы могут не всегда обеспечивать оптимальные результаты. Таким образом, интеграция алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта может предложить передовые решения для адаптивного управления ресурсами, обеспечивая высокую эффективность и удовлетворение потребностей всех потребителей сетевых услуг.

Управление трафиком в *SDN* представляет собой сложную многозадачную проблему, требующую глубокого анализа и применения передовых технологий для эффективного решения вышеуказанных вызовов. В свете этих трудностей, интеграция методов машинного обучения представляется одним из наиболее перспективных направлений для оптимизации управления трафиком в *SDN* [4].

Обзор методов машинного обучения для адаптивного управления трафиком

Методы машинного обучения предлагают эффективные решения для адаптивного управления трафиком в сетях *SDN*. Их применение позволяет извлечь ценную информацию из сетевых данных, определить характеристики и особенности потоков, а также прогнозировать и оптимизировать поведение сети. Рассмотрим ключевые методы машинного обучения, применимые в данном контексте [5].

1. Обучение с учителем для классификации потоков трафика:

При применении методов обучения с учителем, система обучается на основе предварительно размеченных данных. Цель – создать модель, которая может классифицировать новые, ранее неизвестные потоки на основе их характеристик.

Примером может служить использование алгоритмов, таких как деревья решений, случайные леса или градиентный бустинг, для классификации потоков трафика по приложениям или типам услуг. После обучения на подмножестве размеченных данных, система может автоматически определять тип потока (например, видеостриминг, *VoIP* или веб-браузинг) и принимать решения о приоритете, пропускной способности или маршрутной стратегии на основе классификации.

2. Обучение без учителя для выявления аномалий и группировки потоков:

В отличие от обучения с учителем, методы обучения без учителя не требуют предварительной разметки данных. Они используются для идентификации структуры или аномалий в данных.

Кластеризация, такая как метод *k*-средних или иерархическая кластеризация, может быть использована для группировки схожих потоков данных, что позволяет определить общие характеристики или установить базовые профили трафика. Методы выявления аномалий, такие как одноклассовая машина опорных векторов (*One-Class SVM*) или изолирующий лес, могут обнаруживать необычные или подозрительные потоки, что является ключевым для обнаружения потенциальных угроз или отклонений в сети.

3. Обучение с подкреплением для динамической оптимизации маршрутов передачи данных:

Обучение с подкреплением является методом, при котором агент обучается, принимая решения в интерактивной среде, чтобы максимизировать некоторую долгосрочную награду. В контексте *SDN*, это может означать оптимизацию маршрутов передачи данных на основе непрерывного взаимодействия со средой и обратной связи в виде качества услуги (*QoS*) или других метрик.

Применение методов обучения с подкреплением, таких как Q -обучение или глубокое обучение с подкреплением, позволяет системе адаптироваться к динамическим изменениям в сети и оптимизировать маршруты передачи данных в реальном времени, учитывая текущие условия и прогнозируемые требования [5, 6].

Методы машинного обучения предоставляют мощные инструменты для адаптивного управления трафиком в сетях *SDN*. Через комбинацию различных подходов, таких как классификация, кластеризация и оптимизация маршрутизации, можно достичь высокой степени автоматизации и оптимизации сетевых операций.

Применение машинного обучения в управлении трафиком *SDN*

Современные сети *SDN* предлагают гибкость и централизованное управление, что ставит перед исследователями и практиками задачу эффективного использования данных преимуществ для оптимизации работы сети. Методы машинного обучения предоставляют подходы к решению сложных задач управления трафиком в таких динамических средах. Рассмотрим, как машинное обучение применяется в данном контексте [7].

1. Адаптивное распределение ресурсов на основе прогнозов потоков данных:

Одной из ключевых задач управления сетью является оптимальное распределение ресурсов сети для обеспечения качественной работы различных приложений и услуг. Методы машинного обучения, основанные на временных рядах, такие как *ARIMA* или рекуррентные нейронные сети (*RNN*), могут прогнозировать будущие потоки данных на основе исторических данных о трафике. С учетом этих прогнозов, система управления *SDN* может динамически регулировать распределение ресурсов, предварительно выделяя ресурсы для предсказанных потоков или перераспределяя их в соответствии с изменяющимися требованиями.

2. Динамическая коррекция политик маршрутизации на основе текущего состояния сети:

Состояние сети не является статичным и может меняться из-за различных факторов, таких как внезапные всплески трафика, отказы оборудования или внешние атаки. С помощью методов машинного обучения, таких как обучение с учителем (для классификации состояний) или обучение без учителя (для выявления аномалий), система управления может автоматически определять текущее состояние сети и, на основе этой информации, корректировать политики маршрутизации для гарантирования лучшего качества обслуживания.

3. Использование моделей глубокого обучения для комплексного анализа и прогнозирования трафика:

Модели глубокого обучения, такие как сверточные нейронные сети (*CNN*) или глубокие рекуррентные сети, обладают способностью анализировать сложные, многомерные и временные зависимости в данных. Применяя такие модели к данным о трафике, можно выявлять сложные закономерности и зависимости, которые могут быть упущены традиционными методами. Это позволяет не только эффективно прогнозировать поведение трафика, но и предоставлять более глубокий анализ потоков для определения оптимальных стратегий управления.

Применение методов машинного обучения в сетях *SDN* открывает новые возможности для автоматизации и оптимизации управления трафиком. Сочетание гибкости *SDN* и аналитической мощи машинного обучения предоставляет платформу для создания интеллектуальных, адаптивных и высокоэффективных сетевых решений.

Примеры успешного применения *AI* в управлении трафиком *SDN*

В современном мире растущей зависимости от сетевых сервисов и приложений оптимизация и управление сетевым трафиком становится все более важным. Совмещение методологий *SDN* и *AI* предоставляет новые возможности для достижения эффективности, надежности и адаптивности сетевых систем. Приведем несколько кейс-стади реальных применений этой интеграции [8].

1. Оптимизация пропускной способности сети.

Один из телекоммуникационных гигантов решил внедрить *AI* для прогнозирования и оптимизации пропускной способности своей глобальной сети. Система обучалась на исторических данных, включая информацию о трафике, загрузке оборудования и статусах каналов. С применением модели глубокого обучения, сеть стала способна динамически перераспределять трафик, снижая загрузку на перегруженных участках и предотвращая задержки. Эффективность распределения ресурсов увеличилась на 20%, а количество инцидентов, связанных с перегрузкой, уменьшилось на 15%.

2. Обнаружение и реагирование на аномалии.

Крупная интернет-компания внедрила систему на базе *AI* для мониторинга своего трафика и обнаружения потенциальных атак или нештатных ситуаций. Используя методы обучения без учителя, система обучалась выявлять аномалии в потоках данных. Система стала способна обнаруживать и классифицировать аномалии в реальном времени, что позволило быстро реагировать на потенциальные угрозы. В результате, время реакции на инциденты уменьшилось на 30%, а общая надежность сети улучшилась.

3. Автоматизированное управление ресурсами сети.

Финансовое учреждение с большим количеством филиалов и сложной сетевой инфраструктурой решило использовать *AI* для управления ресурсами сети, опираясь на принципы обучения с подкреплением. Система стала самостоятельно определять оптимальные пути для трафика, учитывая текущее состояние сети и требования приложений. Это позволило снизить общие затраты на обслуживание сети на 10% и улучшить качество предоставляемых услуг.

Приведенные кейс-стади подтверждают, что применение *AI* в управлении трафиком *SDN* может дать реальные преимущества для предприятий различного масштаба. Среди ключевых преимуществ:

1. Динамичность и адаптивность. Системы становятся способными реагировать на изменения в условиях сети в реальном времени.

2. Проактивность. Вместо реакции на проблемы после их возникновения, системы могут предсказывать и предотвращать потенциальные инциденты.

3. Эффективное распределение ресурсов. Используя прогнозы и аналитику, системы могут оптимизировать использование сетевых ресурсов.

4. Улучшение безопасности. Способность быстро обнаруживать и реагировать на аномалии делает сеть более устойчивой к внешним угрозам.

Таким образом, интеграция *AI* и *SDN* открывает новые горизонты для сетевых инженеров и администраторов, позволяя создавать более надежные, эффективные и автономные сетевые системы.

Заключение

В ходе данного исследования был проведен тщательный анализ существующих подходов к управлению трафиком в *SDN*-сетях и изучены различные методы машинного обучения, которые могут быть применены для адаптивного управления трафиком. Сравнительный анализ позволил выявить

ключевые преимущества и ограничения как традиционных, так и инновационных подходов, основанных на машинном обучении, в контексте *SDN*.

Выводы, полученные на основе сравнительного анализа:

- Преимущества машинного обучения

Однозначно было установлено, что применение машинного обучения в управлении трафиком *SDN*-сетях способствует значительному улучшению адаптивности и гибкости сетевых операций. Модели машинного обучения, способные к обучению на основе предыдущего опыта, предоставляют возможность для более точного прогнозирования трафика и оптимизации сетевых ресурсов в реальном времени.

- Ограничения существующих подходов

Также было выявлено, что несмотря на значительный потенциал машинного обучения, существуют определенные ограничения и вызовы, связанные с его интеграцией в *SDN*. Эти вызовы включают в себя необходимость обработки больших объемов данных, обеспечение безопасности и приватности данных, а также потребность в высокой вычислительной мощности для обучения моделей.

- Рекомендации для будущих исследований

На основе проведенного анализа были сформулированы рекомендации по дальнейшим исследованиям, направленным на устранение выявленных ограничений и полное раскрытие потенциала машинного обучения в управлении трафиком *SDN*-сетях. В частности, акцентируется внимание на разработке более эффективных алгоритмов машинного обучения, которые требуют меньших объемов данных и меньшей вычислительной мощности, а также на разработке механизмов защиты данных.

Таким образом, сравнительный анализ показал, что машинное обучение представляет собой мощный инструмент для адаптивного управления трафиком в *SDN*-сетях, способный значительно улучшить эффективность и гибкость сетевых операций. Однако для реализации его полного потенциала необходимы дальнейшие исследования и разработки в области алгоритмов машинного обучения и механизмов обеспечения безопасности.

Литература

1. Гетьман А.И., Маркин Ю.В., Евстропов Е.Ф., Обыденков Д.О. Обзор задач и методов их решения в области классификации сетевого трафика // Труды ИСП РАН, 2017. – Т. 29. – В. 3. – С. 117-150. DOI: 10.15514/ISPRAS-2017-29(3)-8.
2. Boutaba R., Salahuddin M.A., Limam N., Ayoubi S., Shahriar N., Solano F.E., Rendon O.M. A comprehensive survey on machine learning for networking: evolution, applications and research opportunities // Journal of Internet Services and Applications, 2018. – № 9. – P. 1-99. <https://doi.org/10.1186/s13174-018-0087-2>.
3. Harkut Dr Dinesh. An Overview of Network Traffic Classification Methods, 2015.
4. Шелухин О.И., Ерохин С.Д., Ванюшина А.В. Классификация IP-трафика методами машинного обучения / под ред. О. И. Шелухина. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 282 с.
5. Xie J. et al. A Survey of Machine Learning Techniques Applied to Software Defined Networking (SDN): Research Issues and Challenges // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018. – P. 393-430. <https://doi.org/10.1109/comst.2018.2866942>.
6. Zhao Y., Li Y., Zhang X., Geng G., Zhang W. and Sun Y. A Survey of Networking Applications Applying the Software Defined Networking Concept Based on Machine Learning // IEEE Access, 2019. – V. 7. – P. 95397–95417. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2928564>.

7. Mohammed A.R., Mohammed S. A. and Shirmohammadi S. Machine Learning and Deep Learning Based Traffic Classification and Prediction in Software Defined Networking // Proc, 2019 IEEE International Symposium on Measurements & Networking (M&N). – P. 1-6. <https://doi.org/10.1109/IWMN.2019.8805044>.
8. Singhal P., Mathur R., Vyas H. State of the Art Review of Network Traffic Classification based on Machine Learning Approach // Proc. International Conference on Recent Trends in Engineering & Technology, 2013. – P. 12-15.

ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ СПУТНИКОВОЙ ГРУППИРОВКИ «СФЕРА» ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТИЖЕНИЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Л.А. Плотников, Московский технический университет связи и информатики,
leonidplotnikovv@yandex.ru.*

УДК 004.8:621.391

Аннотация. В статье представлен обзор спутниковой группировки «Сфера», рассмотрены принцип работы и ее характеристики. Представлены различные аспекты развития, внедрения данной системы, рассмотрены перспективы реализации спутниковой группировки «Сфера» для обеспечения достижений научно-технических целей в развитии Российской Федерации.

Ключевые слова: информационная система; космический аппарат; космос; технологии; спутниковая связь; *IoT*; связь; вещание.

PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE SATELLITE CONSTELLATION «SPHERE» TO ENSURE THE ACHIEVEMENT OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL GOALS FOR THE DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION

L.A. Plotnikov, Moscow technical university of communications and informatics.

Annotation. The article presents an overview of the satellite constellation «Sphere», the principle of operation and its characteristics are considered. Various aspects of the development and implementation of this system are presented, the prospects for the implementation of the «Sphere» satellite constellation to ensure the achievement of scientific and technical goals in the development of the Russian Federation are considered.

Keywords: information system; spacecraft; space; technology; satellite communications; *IoT*; communications; broadcasting.

Введение

Космос является одной из самых перспективных отраслей развития, который обеспечивает нас спутниковой связью, системами навигации, различными службами и телевидением, достигших в наше время существенного развития.

Низкоорбитальные спутниковые системы связи являются информационными системами и требуют специальных мер защиты от возможных радиопомех. Поскольку радиоэлектронные средства (РЭС) спутниковой группировки «Сфера» относятся к аппаратуре, обеспечивающей безопасность и

жизнедеятельность людей, к ней предъявляются требования по надежности и безотказной работе.

Стремительно растущее использование негеостационарных спутниковых орбит (НГСО) представляет собой прорыв в спутниковых технологиях и потенциал для тех, кто лишен связи в отдаленных районах, чтобы они тоже могли пользоваться преимуществами современных технологий. Возможность установления спутниковых соединений очень важна для авиационного и морского секторов, где используются воздушные и морские суда, которые на своих маршрутах могут быть вне зоны досягаемости наземных сетей. Также возможность установления спутниковых соединений помогает сделать «умное» общество реальностью (дистанционное образование, электронное здравоохранение, электронная логистика, «умная» энергетика и «умное» сельское хозяйство) как в развитых, так и в развивающихся странах, в особенности в сельских и отдаленных районах.

Принцип работы и характеристики спутниковой группировки «Сфера»

Федеральный проект «Комплексное развитие космических информационных технологий» («Сфера») – проект российской глобальной многофункциональной инфокоммуникационной спутниковой системы, является федеральной целевой программой комплексного развития космических информационных технологий на период до 2030 г., включающей в себя космические проекты в различных областях [3].

Проектируемая спутниковая группировка «Сфера», разрабатываемая корпорацией «Роскосмос», будет предоставлять услуги высокоскоростного беспроводного многостанционного доступа в любой точке земной поверхности, а также объектам, находящимся в околоземных слоях (гражданская авиация, метеозонды и т.д.).

С использованием инфраструктуры низкоорбитальной спутниковой системы, которая включает в себя основные компоненты: спутниковую группировку, развернутую на высотах от 500 до 900 км; сеть шлюзовых станций, терминирующие поступающие от космических аппаратов (КА) и обратно абонентские данные и позволяющих производить маршрутизацию последних с использованием наземной инфраструктуры глобальных проводных сетей и абонентских терминалов, представляющих собой компактные земные станции, с помощью которых осуществляется связь с КА. Будут расширены возможности наземных сетей беспроводной связи, а именно обеспечение глобального покрытия и предоставления как коммерческих, так и социально-значимых услуг для потребителей в сфере бизнеса, образования, социального обеспечения и т.д. в удаленных и труднодоступных районах, где развертывание наземной инфраструктуры связи технически и экономически невозможно [5]. Зона обслуживания низкоорбитальной спутниковой системы – территория Российской Федерации с возможным расширением до глобальной. Общее количество КА – 620. Предполагаемые сроки развертывания группировки – 2024-2030 гг. [4].

В основе организации глобального радиочастотного покрытия лежит принцип разделения земной поверхности на ячейки, область внутри которой является номинальной зоной обслуживания КА, а границы области являются границами смежных зон обслуживания КА. Размер и конфигурация номинальной зоны обслуживания КА вычисляется из общего орбитального построения многоэшелонной группировки и зависит от текущего положения КА на рабочей орбите, количества сетей, развернутых в данный момент времени и радиотехнического обеспечения КА. В пределах зоны обслуживания КА

радиочастотное покрытие обеспечивается многоантенной системой бортового радиокomплекса КА, формирующего пространственно-разделенные неперекрывающиеся лучи и вписанные в границы зоны обслуживания КА.

Потенциальное число обслуживаемых АТ, приходящихся на один КА, равно 500, в то время как количество одновременно обслуживаемых абонентов (в один и тот же момент времени) равно 50.

КА будет нести на своем борту следующие радиотехнические средства:

- Бортовой радиокomплекс абонентской радиолинии.
- Многоантенная система БРТК абонентской радиолинии, реализованная в виде передающей и приемной АФАР.
- Бортовой радиокomплекс радиолинии связи со шлюзовыми земными станциями, также включающий в себя блоки цифровой обработки и две пространственно-следающие антенны.

Стационарные терминалы индивидуального и коллективного пользования будут использоваться на различных неподвижных объектах личных домохозяйств, муниципальных государственных учреждений, коммерческой недвижимости и специальных стационарных объектах на местах добычи полезных ископаемых, а также как стационарный терминал беспроводной точки доступа на линиях федеральных автострад, железнодорожных путей, где отсутствует возможность подключения к мобильным сетям широкополосной передачи данных стандартов *LTE* и *5G* [3]. Терминал для базовой станции *LTE* и *5G* будет непосредственно расположен и развернут в месте расположения базовых станций сетей *5G* и *LTE*. Подвижный терминал индивидуального пользования будет устанавливаться на подвижные объекты наземного и воздушного транспорта (личный автомобиль, автобус, самолет и т.д.).

Каждый КА формирует до 20 независимых электронно-управляемых пользовательских лучей *Ki*-диапазона на передачу информации и до 20 лучей на прием информации абонентскими терминалами, которые формируют номинальную зону обслуживания КА. Максимизация пропускной способности КА и предоставление беспроводных услуг надлежащего качества являются приоритетными и в параметрах обслуживающих лучей таких как:

- Коэффициент усиления луча.
- Ширина полосы, приходящаяся на один обслуживающий луч.
- Излучаемая мощность, приходящаяся на один обслуживающий луч.

Минимальное значение рабочего угла обслуживания АТ (абонентский терминал) спутниковой группировки составляет 45 градусов (значение угла отчитывается от плоскости тангенциальной точки расположения АТ на земной поверхности).

Земная станция может содержать в своем составе до 20 антенных систем (постов), каждая из которых осуществляет беспроводной сеанс связи с КА, находящимся в зоне работы шлюзовой станции. Антенные системы будут иметь пространственное разнесение порядка нескольких десятков метров. Часть антенных постов осуществляет слежение и сопровождение КА, другая часть ориентируется в направлении предположительного появления следующих КА, ожидая передачи активного радиосоединения с другой обслуживающей ЗС.

Космический аппарат спутниковой группировки «Сфера» оборудован двумя зеркальными антеннами для работы с земными станциями шлюзовой радиолинии. Пока одна из антенн КА производит сеанс связи с ЗС, находящейся в диапазоне

рабочих углов радиолинии, другая антенна КА ориентируется и отслеживает следующую ЗС.

На сегодняшний день активно проходят исследования, касающиеся применения спутниковой группировки «Сфера» в сферах деятельности человека. К сожалению, по большей части все эксперименты являются закрытыми. Доступа к их результатам практически нет. Опираясь на информацию в открытых источниках, был сделан вывод, что данная спутниковая группировка наилучшим образом могла бы быть применена на различных неподвижных объектах личных домохозяйств, муниципальных государственных учреждений, коммерческой недвижимости и специальных стационарных объектах на местах добычи полезных ископаемых, а также как стационарный терминал беспроводной точки доступа на линиях федеральных автострад, железнодорожных путей, где отсутствует возможность подключения к мобильным сетям широкополосной передачи данных.

Перспективы реализации спутниковой группировки «Сфера»

Рассматривая перспективы реализации спутниковой группировки «Сфера» для научного и технического обеспечения достижений приоритетных целей развития Российской Федерации (РФ), стоит отметить не только рост внешних угроз безопасности Российской Федерации, но и необходимость расширения сфер влияния Российской Федерации в мире, увеличение затрат на ликвидацию последствий опасных природных явлений. Спутниковые данные могут эффективно использоваться как инструмент экологического мониторинга, природного надзора и технологического контроля.

Основными задачами, поставленными перед спутниковой группировкой «Сфера», являются:

- обеспечение потребителей во всех секторах экономики информацией и услугами спутниковых систем;
- устойчивое развитие и повышение эффективности российских спутниковых технологий;
- расширение присутствия отечественных космических продуктов и услуг на мировом рынке.

Необходимость реализации спутниковой группировки «Сфера» обусловлена повышением уровня жизни и ожиданием общества новых доступных решений в сфере науки и бизнеса, особенно для транспортно-логистического комплекса, телемедицины и образования. Космический мониторинг является одним из эффективных инструментов для объективного и оперативного удаленного контроля, а услуги позиционирования и связи в реальном времени являются катализатором развития экономики и промышленности России. Стоит отметить, что современные технические платформы для глобального сервиса в сфере транспортно-логистических услуг, интегрируют наземные и космические информационные технологии в востребованные на мировом рынке высокотехнологичные продукты. Синергия для научного и бизнес окружения от объединения ресурсов космических аппаратов, наземной космической инфраструктуры, корпоративных терминалов, приборов и оборудования на микро- и нанoeлектронной компонентной базе, нанодатчиков и маршрутизаторов, персональных вычислительных устройств и абонентских терминалов ясен, поскольку космические технологии навигации, связи и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в совместном действии с наземными системами позволят сформировать устойчивую орбитальную и наземную космическую инфраструктуру. Реализация спутниковой группировки «Сфера»

позволит обеспечить цифровое телевизионное вещание с КА на геостационарной орбите и цифровое радиовещание с КА на высокоэллиптической орбите на всей территории Российской Федерации. Проектом спутниковой группировки «Сфера» предусмотрено обеспечение телекоммуникационными услугами президентской, правительственной и специальной связи, министерств и ведомств РФ на всей территории России услугами персональной связи для корпораций и частных лиц на всей территории Российской Федерации, включая Арктический регион.

Успешная реализация спутниковой группировки «Сфера» позволит повысить эффективность функционирования научно-образовательных и промышленных предприятий и организаций различных отраслей, включая сельское и лесное хозяйство, рыболовство, строительство и добычу полезных ископаемых, государственное управление и обеспечение безопасности, производство ЭВМ и электронных изделий, деятельность в области информации и связи, транспортировку и хранение, строительство и разработку программного обеспечения.



Рисунок 1

Комплексное обслуживание судов по маршруту Северного морского пути будет возможно благодаря системам «Экспресс-РВ», «Марафон IoT» и «Беркут-Х, СМОТР», которые должны обеспечить высокое качество цифрового телевизионного и радиовещания, высокоскоростной передачи данных, мониторинг ледовой обстановки с формированием карт льдов и услуг высокоточной навигации для беспилотных проводок. Данный комплекс систем обеспечит надежными услугами связи, позиционирования и мониторинга в Арктической зоне РФ на подвижных и стационарных объектах, в том числе, беспилотных [3]. Реализация спутниковой группировки «Сфера» по маршруту Северного морского пути представлена на рис. 1.

В 2021 г. начаты работы спутниковой группировки «Сфера». Так многоспутниковая система IoT «Марафон IoT» предполагает сбор и передачу

данных с устройств *IoT* с контролем беспилотных и роботизированных систем: запуск опытного образца космического аппарата «Марафон *IoT*» запланирован в 2024 г., проводится разработка унифицированных платформ малых КА ДЗЗ и связи. Система широкополосного доступа в интернет «СКИФ» для предоставления высокоскоростного доступа была запущена 22 октября 2022 г. Спутниковая группировка «Сфера» будет автоматизировать проводку судов по Северному морскому пути с обеспечением высокоскоростным интернетом всех пассажиров, повысит эффективность перевозок и мониторинга местоположения и технического состояния, как автомобильного транспорта, так и железнодорожного, морских и воздушных судов, экологического мониторинга и контроля лесных пожаров и вырубки леса. Спутниковая группировка «Сфера» повысит уровень контроля над состоянием земель и логистических операций, оптимизирует автоматизацию управленческих задач и мониторинга состояния животных, в промышленности и строительстве обеспечит круглосуточный надзор за строительными объектами с оценкой уровня промышленной безопасности, а также территорий и подъездных путей. Для логистической инфраструктуры «Сфера» ускорит предоставление данных ледовой разведки, повысит обмен данными между беспилотными транспортными средствами, сформирует карты местности и оптимизирует работу транспорта в труднодоступных регионах [5].

Экологический и энергетический мониторинг инфраструктуры предполагает обеспечение возможности контроля и защиты различных объектов и систем, включая транспорт и логистику, в реальном времени. Спутниковая группировка «Сфера» позволяет активно развивать беспилотный транспорт на федеральном и региональных уровнях, предоставляя дополнительные возможности для создания глобальных платформ услуг коммерции, доставки, транспорта и на базе навигационных и телекоммуникационных сервисов. Дополнительные направления применения спутниковой группировки «Сфера» – углеродный мониторинг для инвентаризации способных поглощать углерод всех природных активов и ресурсов, а также мониторинг чрезвычайных ситуаций (ЧС) для предотвращения и контроля развития природных и техногенных катастроф [5].

Заключение

Развитие спутниковой группировки «Сфера» продолжается и в ближайшие годы планируется улучшение и увеличение ее функциональности. Кроме того, Роскосмос также работает над созданием новых спутниковых систем связи и навигации, которые будут использоваться для различных целей – от обеспечения безопасности и экстренных ситуаций до улучшения качества услуг связи в различных отраслях.

На сегодняшний день спутниковая группировка «Сфера» является одной из самых надежных и развитых систем экстренной связи в мире. Система позволяет оперативно передавать информацию и контролировать работу различных объектов, что обеспечивает безопасность и стабильность в различных областях деятельности. В целом, спутниковая группировка «Сфера» является высокотехнологичной системой, которая обеспечивает множество возможностей для улучшения качества жизни людей и общественной безопасности, как в России, так и в мире в целом. Наконец, стоит отметить, что на сегодняшний день «Сфера» является одной из наиболее развитых систем связи и навигации в мире. Российские ученые и инженеры внесли огромный вклад в ее создание и развитие, и продолжают работать над ее совершенствованием и улучшением функциональности.

Спутниковая группировка «Сфера» – это не только технологический проект, но и проект общественной безопасности, который важен не только для России, но и для всего мирового сообщества.

Литература

1. Spectrum database for coexistence of terrestrial fs and fss satellite systems in the 17.7-19.7 GHZ BAND/ Marko Höyhtyä, Aarne Mämmelä Conference: Ka and Broadband Communications Conference At: Bologna Volume: 21st
2. Раткин Л.С. Инновационные технологии XXI века на примере перспектив реализации космического проекта «Сфера» для научно-технологического обеспечения достижения приоритетных целей социально-экономического развития России // Тенденции и перспективы развития. Ежегодник. XXII Национальная научная конференция с международным участием. Москва, 2023. – С. 363-367.
3. URL: <https://www.roscosmos.ru/37274/> (дата обращения: 18.06.2023).
4. URL:https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:%D0%A1%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0_%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0_%D0%BB%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D1%85_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%88%D0%B5%D0%BC(дата обращения: 18.06.2023).
5. URL:<https://trends.rbc.ru/trends/innovation/60e5820b9a794780092fd979#:~:text=%C2%AB%D0%A1%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0%C2%BB%20%E2%80%94%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0%20%C2%AB%D0%A0%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D1%81%D0%B0%C2%BB%2C%20%D0%BA%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%8F,%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%B8%D0%BD%D1%84%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B%20%D0%B4%D0%BE%20430%20%D0%93%D0%B1%D0%B8%D1%82%2F%D1%81> (дата обращения: 18.06.2023)
6. URL: <https://vz.ru/society/2022/10/23/1183399.html> (дата обращения: 18.06.2023).
7. URL: <https://life.ru/p/1352127> (дата обращения: 18.06.2023).
8. URL: <https://lenta.ru/news/2022/10/23/sferaorbita/> (дата обращения: 18.06.2023).

ПРИМЕНЕНИЕ ШАБЛОНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ API В МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

М.Э. Джалалов, Московский технический университет связи и информатики, mansur.djalalov.011@gmail.com.

УДК 004.75

Аннотация. В современной информационной среде микросервисная архитектура занимает ведущие позиции в разработке сложных приложений. Эффективное управление API в этом контексте является ключевым фактором успеха, обеспечивающим гибкость, масштабируемость и безопасность систем. Настоящая статья исследует шаблоны проектирования для управления API в

микросервисах, включая их влияние на безопасность и производительность, а также анализирует текущие тенденции и будущее развитие в данной области. Особое внимание уделяется шаблонам *API Gateway*, *Backend For Frontend* и *Circuit Breaker*, их реализации и оптимизации в контексте микросервисных архитектур.

Ключевые слова: микросервисы; *API*; шаблоны проектирования; *API gateway*; *backend for frontend*; *circuit breaker*; безопасность *API*; оптимизация производительности.

STRATEGIES FOR API VERSIONING MANAGEMENT IN MICROSERVICES ARCHITECTURE

Mansur Dzhalalov, Moscow Technical University of Communications and Informatics.

Annotation. In the modern information environment, microservice architecture occupies a leading position in the development of complex applications. Effective *API* management in this context is a key factor of success, ensuring flexibility, scalability, and security of systems. This article explores design patterns for *API* management in microservices, including their impact on security and performance, and analyzes current trends and future development in this field. Special attention is given to the *API Gateway*, *Backend For Frontend* and *circuit breaker* patterns, their implementation, and optimization in the context of microservice architectures.

Keywords: microservices; *API*; design patterns; *API Gateway*; *Backend For Frontend*; *Circuit Breaker*; *API* security; performance optimization.

Введение

В современной эпохе цифровизации и роста информационных технологий, микросервисная архитектура выступает как ключевой элемент в разработке и управлении сложными программными системами. Актуальность данной темы обусловлена стремительным развитием облачных вычислений, интернета вещей (*IoT*) и больших данных, где традиционные монолитные подходы к архитектуре программного обеспечения часто оказываются неэффективными. Микросервисная архитектура, предоставляя гибкость и масштабируемость, позволяет организациям адаптироваться к быстро меняющимся требованиям рынка и технологическим трендам [1].

Микросервисная архитектура представляет собой подход к разработке программного обеспечения, при котором приложение структурировано как набор слабо связанных сервисов. В отличие от монолитной архитектуры, где все функции приложения интегрированы в один процесс, микросервисы функционируют независимо друг от друга, обеспечивая тем самым улучшенную устойчивость системы, гибкость в развертывании и возможность использования различных технологических стеков. Ключевое преимущество микросервисной архитектуры заключается в ее способности к масштабированию отдельных компонентов приложения в ответ на изменяющиеся требования, а также в обеспечении непрерывной интеграции и доставки (*CI/CD*), что критически важно в динамично меняющейся бизнес-среде [2].

Управление *API* (прикладным программным интерфейсом) в микросервисной архитектуре приобретает особую важность. *API* служит связующим элементом между различными микросервисами, обеспечивая их взаимодействие и совместную работу. Эффективное управление *API* позволяет не только упростить процесс интеграции и взаимодействия между различными сервисами, но и обеспечивает возможность безопасного, контролируемого доступа

к функционалу каждого микросервиса. Это особенно важно, поскольку в микросервисной архитектуре каждый сервис может разрабатываться, тестироваться, развертываться и масштабироваться независимо от других, что предъявляет высокие требования к стабильности и безопасности взаимодействия между сервисами.

Цель данной работы заключается в исследовании и анализе применения шаблонов проектирования для эффективного управления *API* в условиях микросервисной архитектуры. Также стремление выявить, как выбор определенных шаблонов проектирования может влиять на гибкость, масштабируемость, безопасность и производительность микросервисных систем. Основная цель разбивается на следующие конкретные задачи:

1. Обзор микросервисной архитектуры:

- определение ключевых характеристик микросервисной архитектуры и ее отличия от монолитных систем;
- анализ преимуществ и потенциальных трудностей, связанных с переходом на микросервисную архитектуру.

2. Изучение шаблонов проектирования для управления *API*:

- подробный анализ шаблонов *API Gateway*, *Backend For Frontend (BFF)*, и *Circuit Breaker*, включая их роль, преимущества и возможные недостатки;
- рассмотрение специфических случаев использования каждого шаблона и их вклада в решение проблем управления *API* в микросервисной архитектуре.

3. Влияние шаблонов проектирования на безопасность и производительность:

- оценка того, как различные шаблоны проектирования могут повлиять на безопасность *API* и какие меры могут быть приняты для минимизации рисков;
- анализ стратегий оптимизации производительности при использовании данных шаблонов, включая управление нагрузкой, кеширование и балансировку.

4. Рассмотрение современных тенденций и будущего развития:

- исследование текущих тенденций в управлении *API* в микросервисных архитектурах, включая использование *GraphQL*, увеличение внимания к безопасности и интеграцию с ИИ и машинным обучением;
- прогнозирование будущих направлений развития в управлении *API* и микросервисной архитектуре, включая потенциальное влияние *serverless* архитектур и автоматизации *CI/CD* процессов.

Основные понятия и определения

API представляет собой набор правил и спецификаций, используемых программными компонентами для взаимодействия друг с другом. В контексте микросервисной архитектуры *API* выступает в роли критически важного механизма, обеспечивающего связь и координацию между отдельными микросервисами. *API* определяет способы, которыми один сервис может взаимодействовать с другим, включая запросы данных, выполнение операций и обмен информацией. Важность *API* в микросервисах усиливается тем, что они обеспечивают стандартизацию взаимодействия между сервисами, что существенно упрощает процесс разработки, тестирования и масштабирования системы. *API* играют ключевую роль в реализации принципов микросервисной архитектуры,

таких как независимость, гибкость и модульность, позволяя разработчикам эффективно и безопасно управлять сложными системами распределенных сервисов [3, 4].

Шаблоны проектирования в программировании – это проверенные решения для часто встречающихся проблем в процессе разработки программного обеспечения. Эти шаблоны не являются готовыми фрагментами кода, а скорее представляют собой описание или шаблон, как решать определенные задачи в контексте проектирования программ. Применение шаблонов проектирования обеспечивает повышение качества кода, его повторное использование и упрощение процесса поддержки и расширения программного продукта [5].

В контексте микросервисной архитектуры, шаблоны проектирования оказываются особенно полезными, поскольку они предлагают структурированные подходы к решению проблем распределенных систем. Например, шаблон «*API Gateway*» используется для управления входящими запросами к микросервисам, обеспечивая единую точку входа в систему, что упрощает мониторинг, безопасность и маршрутизацию запросов. Другой популярный шаблон, «*Circuit Breaker*», помогает предотвратить сбои в одном сервисе, предотвращая распространение проблемы на весь набор микросервисов. Эти и многие другие шаблоны проектирования обеспечивают гибкость, масштабируемость и устойчивость микросервисных архитектур, что делает их неотъемлемой частью современных методик разработки программного обеспечения.

Шаблоны проектирования для управления *API*

В рамках микросервисной архитектуры, управление *API* подразумевает применение специализированных шаблонов проектирования, каждый из которых обладает уникальными характеристиками, целями и областями применения. В табл. 1 приводится детальный обзор наиболее важных шаблонов проектирования для *API* в микросервисах, включая их преимущества и недостатки.

Таблица 1.

Шаблон проектирования	Описание	Преимущества	Недостатки
<i>API Gateway</i>	Шаблон <i>API Gateway</i> представляет собой единую точку входа для всех клиентских запросов. Он направляет запросы к соответствующим микросервисам, агрегирует результаты различных сервисов и возвращает их клиенту. Этот шаблон также может обрабатывать аутентификацию, авторизацию,	Упрощение клиентской логики за счет централизации общей функциональности. Облегчение мониторинга и обеспечение безопасности на уровне входа в систему.	Возможное узкое место и точка отказа, требующая тщательного планирования и управления производительностью. Потенциальная сложность управления и масштабирования <i>API Gateway</i> по мере роста системы.

Шаблон проектирования	Описание	Преимущества	Недостатки
	мониторинг и кеширование.		
<i>BFF</i>	<i>BFF</i> является разновидностью шаблона <i>API Gateway</i> , где для каждого типа клиента (например, мобильного приложения, веб-интерфейса) создается отдельный бэкенд. Это позволяет оптимизировать <i>API</i> под конкретные потребности каждого клиентского приложения.	Гибкость и оптимизация <i>API</i> под конкретные нужды клиентов. Улучшенная производительность и пользовательский опыт за счет настройки под конкретные интерфейсы.	Возможное дублирование кода и функциональности между разными <i>BFF</i> . Управление множеством версий <i>API</i> для разных клиентов может усложниться.
<i>Circuit Breaker</i>	Шаблон <i>Circuit Breaker</i> предотвращает распространение сбоев в одном сервисе на весь набор микросервисов. При обнаружении проблем в сервисе (например, слишком много ошибок или задержек), <i>Circuit Breaker</i> временно отключает вызовы к этому сервису, предотвращая его перегрузку и давая ему возможность восстановиться.	Повышение устойчивости системы к отказам и сбоям. Снижение нагрузки на проблемный сервис, для восстановления его нормального функционирования.	Необходимость тщательной настройки параметров для эффективной работы (определение порогов для активации и восстановления). Потенциальная потеря запросов или функциональности в момент активации <i>Circuit Breaker</i> .

Эти шаблоны проектирования играют важную роль в управлении *API* в микросервисной архитектуре, обеспечивая баланс между устойчивостью, производительностью и гибкостью. При выборе подходящего шаблона важно учитывать специфику бизнес-процессов, технические требования и потребности пользователей, чтобы обеспечить оптимальную работу и масштабируемость системы.

Анализ реальных случаев использования шаблонов проектирования для управления *API* в микросервисной архитектуре

Реальные примеры использования шаблонов проектирования в микросервисных архитектурах предоставляют ценные уроки и практические

знания. Для детального понимания этих шаблонов важно изучить их применение в конкретных проектах, оценить их эффективность и выявить потенциальные проблемы. В табл. 2 представлен анализ шаблонов проектирования: использование, эффективность и потенциальные проблемы.

Таблица 2.

Шаблон проектирования	Пример использования	Оценка эффективности	Потенциальные проблемы
<i>API Gateway (Zuul on Netflix)</i>	Унифицированная точка входа для управления запросами и обеспечения безопасности и мониторинга.	Обеспечивает гибкость в маршрутизации и улучшенную производительность за счет кеширования.	Централизация может привести к созданию узкого места и потенциальной точки отказа. Сложность управления и масштабирования.
<i>BFF в SoundCloud</i>	Разработка отдельных <i>BFF</i> для различных типов клиентов (мобильные, веб).	Оптимизирует <i>API</i> под конкретные потребности клиентов, улучшая пользовательский опыт.	Управление множеством версий <i>BFF</i> может быть сложным, риск дублирования бизнес-логики.
<i>Circuit Breaker (Spring Cloud)</i>	Автоматическое отключение вызовов к ненадежным сервисам для предотвращения каскадных сбоев.	Повышает устойчивость системы, предотвращая множественные сбои и обеспечивая стабильную работу.	Настройка порогов для активации и отключения может быть сложной, особенно в системах с высокой нагрузкой.

Данная таблица представляет собой упрощенный обзор, демонстрирующий как примеры реализации шаблонов проектирования, так и их эффективность и потенциальные проблемы, которые могут возникнуть в процессе их использования в микросервисных архитектурах.

Безопасность и производительность

Влияние шаблонов проектирования на безопасность API

В контексте микросервисной архитектуры, безопасность *API* является одним из ключевых аспектов, определяющих стабильность и надежность системы. Шаблоны проектирования, применяемые для управления *API*, оказывают значительное влияние на уровень безопасности. Основная задача при разработке *API* – обеспечить защиту от различных видов атак и уязвимостей, таких как *SQL*-инъекции, кросс-сайтовый скриптинг (*XSS*), фальсификация запросов между сайтами (*CSRF*) и других.

Шаблон *API Gateway*, например, централизует обработку запросов и, таким образом, обеспечивает единую точку для внедрения механизмов безопасности, таких как аутентификация, авторизация и шифрование. Однако эта централизация также представляет собой потенциальный риск, поскольку *Gateway* становится привлекательной целью для атак. Поэтому критически важно реализовать дополнительные меры безопасности, такие как защита от *DDoS*-атак, ограничение скорости запросов и мониторинг аномального трафика.

Шаблон *Backend For Frontend* позволяет оптимизировать *API* для различных типов клиентов, тем самым обеспечивая более строгий контроль над тем, какие данные и операции доступны для каждого клиента. Это может снизить риск неавторизованного доступа к чувствительным функциям или данным. Тем не менее, каждый *BFF* требует отдельной реализации мер безопасности, что увеличивает общую сложность системы.

Стратегии оптимизации производительности при использовании данных шаблонов

Оптимизация производительности в микросервисной архитектуре требует комплексного подхода, учитывающего как архитектурные решения, так и операционные аспекты. Применение шаблонов проектирования должно сопровождаться стратегиями, направленными на повышение эффективности работы системы.

Для шаблона *API Gateway* важно обеспечить масштабируемость и высокую доступность. Это может включать в себя использование кластеризации, балансировки нагрузки и репликации. Кеширование часто запрашиваемых данных на уровне *Gateway* может значительно улучшить время отклика и снизить нагрузку на бэкенд-системы.

В контексте *Backend For Frontend*, одной из ключевых стратегий оптимизации является избежание дублирования логики и данных. Подходы, такие как микро-кеширование и умное управление зависимостями, помогают снизить избыточность и улучшить производительность.

Для шаблона *Circuit Breaker* критически важно правильно настроить пороги активации и восстановления, чтобы избежать ненужного отключения сервисов и обеспечить их своевременное восстановление. Эффективное использование этого шаблона может предотвратить множество проблем с производительностью, связанных с зависимостями и взаимодействием сервисов.

Шаблоны проектирования для управления *API* в микросервисной архитектуре предоставляют мощные инструменты для повышения безопасности и производительности системы. Однако их успешное применение требует тщательного планирования, реализации и постоянного мониторинга.

Тенденции и будущее управления *API* в микросервисах

В последние годы управление *API* в контексте микросервисных архитектур претерпевает значительные изменения, обусловленные как развитием технологий, так и меняющимися требованиями бизнеса и пользователей. Современные тенденции в управлении *API* включают следующие аспекты:

1. Расширение функциональности *API Gateway*.

Современные *API Gateway* становятся все более интеллектуальными и многофункциональными. Они не только выполняют традиционные задачи маршрутизации и балансировки нагрузки, но и интегрируют такие функции, как управление трафиком, обработка ошибок, трансформация данных и безопасность.

2. Использование *GraphQL* вместо *REST*.

GraphQL, система запросов для *API*, набирает популярность благодаря своей гибкости и эффективности. В отличие от *REST*, *GraphQL* позволяет клиентам точно определять, какие данные им нужны, что сокращает объем передаваемой информации и улучшает производительность.

3. Рост важности безопасности *API*.

По мере того, как *API* становятся более распространенными, вопросы безопасности приобретают ключевое значение. Это включает в себя усиленные

меры аутентификации и авторизации, шифрование, защиту от атак и мониторинг аномального поведения.

4. Микросервисы как продукты.

В рамках стратегии «*API-first*» микросервисы разрабатываются как независимые продукты с четко определенными *API*. Этот подход способствует более тесному взаимодействию между разработчиками и конечными пользователями, позволяя более точно соответствовать потребностям бизнеса.

Прогнозируя будущее управления *API* в микросервисах, можно выделить несколько ключевых направлений:

1. Интеграция искусственного интеллекта и машинного обучения.

Будущее управления *API* может включать интеграцию с ИИ и машинным обучением для автоматизации многих процессов, таких как мониторинг, оптимизация производительности и обнаружение угроз безопасности.

2. *Serverless* и *FaaS* (*Function as a Service*).

Продолжится рост популярности *serverless* архитектур и *FaaS*-моделей, которые позволяют разработчикам сосредоточиться на написании кода бизнес-логики, в то время как управление инфраструктурой переходит к облачным провайдерам.

3. Увеличение использования автоматизации.

Автоматизация процессов *CI/CD* (*Continuous Integration/Continuous Deployment*) и *IaC* (*Infrastructure as Code*) будет дальше развиваться, обеспечивая более высокую скорость разработки и развертывания сервисов.

4. Развитие стандартов и спецификаций для *API*.

Появление и усиление стандартов, таких как *OpenAPI Specification*, продолжит способствовать более легкой интеграции и взаимодействию между различными микросервисами и системами.

Будущее управления *API* в микросервисах представляется динамичным и многообещающим, с фокусом на безопасность, производительность, гибкость и интеграцию с передовыми технологиями. Эти тенденции отражают общее направление развития индустрии программного обеспечения и предоставляют многочисленные возможности для инноваций и улучшения систем.

Заключение

На основе проведенного сравнительного анализа шаблонов проектирования для управления *API* в микросервисной архитектуре был сделан ряд важных выводов. Анализ показал, что выбор и реализация конкретных шаблонов проектирования играют ключевую роль в обеспечении гибкости, масштабируемости, безопасности и производительности микросервисных систем. Шаблоны, такие как *API Gateway*, *BFF*, и *Circuit Breaker*, предоставляют разработчикам мощные инструменты для оптимизации управления *API*, однако их эффективность зависит от специфики приложения и контекста его использования.

Сравнительный анализ подчеркнул необходимость тщательного планирования и реализации механизмов безопасности при использовании этих шаблонов, а также важность выбора стратегий оптимизации производительности, специфичных для каждого шаблона. Результаты анализа также указывают на быстро меняющуюся природу технологий управления *API* и микросервисных архитектур, подтверждая тенденцию к интеграции современных подходов, таких как *GraphQL*, *serverless* архитектуры и использование искусственного интеллекта и машинного обучения для автоматизации и оптимизации процессов.

В заключении можно отметить, что успешное управление *API* в микросервисной архитектуре требует не только правильного выбора шаблонов проектирования, но и их грамотной адаптации под конкретные бизнес-задачи и технические требования проекта. Подчеркивается, что продолжение исследований в этой области и обмен практическим опытом между разработчиками и архитекторами будет способствовать дальнейшему совершенствованию методик управления *API* и развитию микросервисных архитектур, что, в свою очередь, приведет к созданию более надежных, масштабируемых и гибких систем.

Литература

1. Handling Communication via APIs for Microservices. Дата обращения: 20 декабря 2023 года. URL: arXiv:2308.01302.
2. Towards an Architecture-centric Methodology for Migrating to Microservices. Дата обращения: 20 декабря 2023 года. URL: arXiv:2207.00507.
3. An Architectural Approach to Creating a Cloud Application for Developing Microservices. Дата обращения: 20 декабря 2023 года. URL: arXiv:2210.02102.
4. AI Techniques in the Microservices Life-Cycle: A Survey. Дата обращения: 20 декабря 2023 года. URL: arXiv:2305.16092.
5. Automate migration to microservices architecture using Machine Learning techniques. Дата обращения: 20 декабря 2023 года. URL: arXiv:2301.06508.

СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРСИОННОСТЬЮ API В МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

*М.Э. Джалалов, Московский технический университет связи и информатики,
mansur.djalalov.011@gmail.com.*

УДК 004.75

Аннотация. В данной статье осуществляется анализ методов управления версионностью *API* в контексте микросервисных архитектур. Рассматриваются различные подходы, включая отдельные версии для каждого микросервиса, централизованный подход и использование *API*-шлюзов. Анализируются реальные кейс-стади компаний, успешно реализовавших эти методы, а также обсуждаются текущие проблемы и вызовы в этой области. Статья также включает обзор текущих тенденций и прогнозы на будущее управления версионностью *API*.

Ключевые слова: микросервисы; управление версиями *API*; центральный подход; *API*-шлюзы; технологические тенденции; цифровая трансформация; искусственный интеллект; машинное обучение.

STRATEGIES FOR API VERSIONING MANAGEMENT IN MICROSERVICES ARCHITECTURE

Mansur Dzhalalov, Moscow Technical University of Communications and Informatics.

Annotation. This article provides an in-depth analysis of *API* version management methods in the context of microservice architectures. Various approaches are considered, including individual versions for each microservice, a centralized approach, and the use of *API* gateways. Real-world case studies of companies that have successfully implemented these methods are analyzed, and current problems and challenges in this

area are discussed. The article also includes an overview of current trends and predictions for the future of *API* version management.

Keywords: microservices; *API* versioning; central approach; *API* gateways; technology trends; digital transformation; artificial intelligence; machine learning.

Введение

Микросервисная архитектура представляет собой подход к разработке программного обеспечения, при котором приложение строится как набор независимых компонентов, называемых микросервисами. Эти микросервисы функционируют как отдельные службы, каждая из которых отвечает за выполнение определенной функциональности приложения и общается с другими службами через легковесные механизмы, обычно с использованием *API* (*Application Programming Interface* – прикладной программный интерфейс) [1]. Этот подход позволяет системам быть более гибкими, масштабируемыми и устойчивыми к изменениям, поскольку изменения в одном сервисе не влекут за собой необходимость изменения в других.

В контексте микросервисной архитектуры, *API* играет роль языка коммуникации между различными микросервисами. *API* определяет методы и структуры, которые сервисы могут использовать для взаимодействия друг с другом. Это включает в себя операции, такие как запросы данных, выполнение функций или обновления информации. Стабильный и хорошо документированный *API* является критически важным для обеспечения эффективной и надежной работы микросервисной архитектуры [2].

Управление версиями *API* является ключевым аспектом в управлении жизненным циклом микросервисных приложений. По мере того, как микросервисы развиваются, изменяется и их *API*. Новые функции добавляются, старые устаревают или изменяются, что требует адекватного управления версиями *API*. Неправильное управление версиями может привести к несовместимости между различными частями системы, что, в свою очередь, может вызвать ошибки, сбои в работе и ухудшение качества пользовательского опыта.

Эффективное управление версиями *API* позволяет:

1. Обеспечивать обратную совместимость: новые версии *API* должны быть способны взаимодействовать с более старыми версиями микросервисов, чтобы избежать проблем в работе системы.
2. Гарантировать гибкость разработки: разработчики могут добавлять новые функции и улучшать существующие, не беспокоясь о разрушении текущей функциональности.
3. Упрощать масштабирование: по мере роста системы и увеличения количества микросервисов, управление версиями помогает поддерживать порядок и организованность взаимодействий между сервисами.
4. Повышать надежность системы: стабильное управление версиями минимизирует риски ошибок и сбоев, возникающих из-за несовместимости *API*.

Таким образом, управление версиями *API* в микросервисной архитектуре не просто улучшает текущую работу системы, но и является критически важным для её долгосрочной устойчивости и развития. Оно играет ключевую роль в обеспечении гладкой интеграции новых функциональных возможностей, поддерживая при этом стабильность и надежность всей системы [3].

Целью данного исследования является комплексный анализ существующих методов управления версионностью *API* в микросервисных архитектурах, выявление их преимуществ и недостатков, а также изучение текущих тенденций и

формирование прогнозов относительно будущего развития в этой области. Статья стремится предоставить читателям глубокое понимание важности управления версионностью *API* для поддержания стабильности, гибкости и масштабируемости микросервисных систем, а также для обеспечения их долгосрочной устойчивости и развития.

Для достижения поставленной цели, в статье решаются следующие задачи:

- Обзор существующих подходов к управлению версионностью *API* в контексте микросервисных архитектур, включая отдельные версии для каждого микросервиса, централизованный подход и использование *API*-шлюзов. Анализ их преимуществ и недостатков на основе реальных кейсов компаний.
- Изучение текущих проблем и вызовов, с которыми сталкиваются разработчики и архитекторы при управлении версионностью *API* в микросервисных системах, включая обеспечение обратной совместимости, управление зависимостями и версионный дрейф.
- Формулирование рекомендаций и стратегий для эффективного управления версионностью *API*, основанных на анализе лучших практик и успешных примеров из индустрии.
- Обзор текущих технологических тенденций и прогнозирование будущего управления версионностью *API* в контексте быстро развивающихся технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ), машинное обучение (МО), облачные технологии и контейнеризация.
- Анализ влияния управления версионностью *API* на цифровую трансформацию предприятий и предоставление рекомендаций для адаптации к будущим изменениям.

Решение этих задач позволит комплексно оценить текущее состояние и перспективы развития управления версионностью *API* в микросервисных архитектурах, а также сформировать понимание ключевых факторов, определяющих успех внедрения и эксплуатации микросервисных систем на практике.

Обзор существующих методов управления версионностью *API*

В современных микросервисных архитектурах управление версионностью *API* является ключевой задачей, требующей тщательного подхода. Существуют различные методы управления версиями, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, влияющие на гибкость, масштабируемость и сложность системы [4].

Один из подходов – это независимое управление версиями каждого микросервиса. Этот метод позволяет разработчикам обновлять и модифицировать микросервисы автономно, что придает системе гибкость и ускоряет процесс разработки. Однако с ростом числа микросервисов управление зависимостями становится сложнее, а интеграция различных версий *API* может потребовать дополнительных усилий.

Централизованный подход к версионированию предлагает альтернативу, при которой все микросервисы координируют обновления *API* на уровне всего приложения. Это обеспечивает консистентность и упрощает управление зависимостями, но может замедлить процесс внедрения изменений из-за необходимости их согласования на глобальном уровне. Также существует риск того, что такой подход окажется менее масштабируемым в крупных системах [5].

Использование *API*-шлюзов для управления версиями представляет собой смешанный подход. *API*-шлюзы действуют как посредники между клиентами и

микросервисами, предлагая единую точку доступа к различным *API* и управляя версиями на своем уровне. Это снижает нагрузку на клиентскую сторону и облегчает мониторинг, однако создает централизованную точку отказа и может увеличить сложность системы. В табл. 1 приведен сравнительный анализ методов управления версионностью *API* в микросервисных архитектурах.

Таблица 1.

Метод управления версионностью <i>API</i>	Преимущества	Недостатки
Отдельные версии для каждого микросервиса	<ul style="list-style-type: none"> гибкость в разработке; параллельная работа над разными сервисами. 	<ul style="list-style-type: none"> сложность управления зависимостями; проблемы с интеграцией и совместимостью.
Централизованный подход	<ul style="list-style-type: none"> консистентность <i>API</i> в системе; упрощение управления и тестирования. 	<ul style="list-style-type: none"> ограничение гибкости; проблемы масштабируемости в больших системах.
Использование <i>API</i> -шлюзов	<ul style="list-style-type: none"> централизация управления версиями; изоляция клиентов от изменений. 	<ul style="list-style-type: none"> создание централизованной точки отказа; увеличение сложности системы.

Каждый из этих подходов требует взвешенного рассмотрения в контексте конкретной архитектуры и бизнес-требований. Важно найти баланс между гибкостью разработки, стабильностью системы и ее способностью адаптироваться к изменениям. Оптимальное решение часто требует комбинации различных методик и инструментов, адаптированных под уникальные условия и потребности конкретной микросервисной архитектуры.

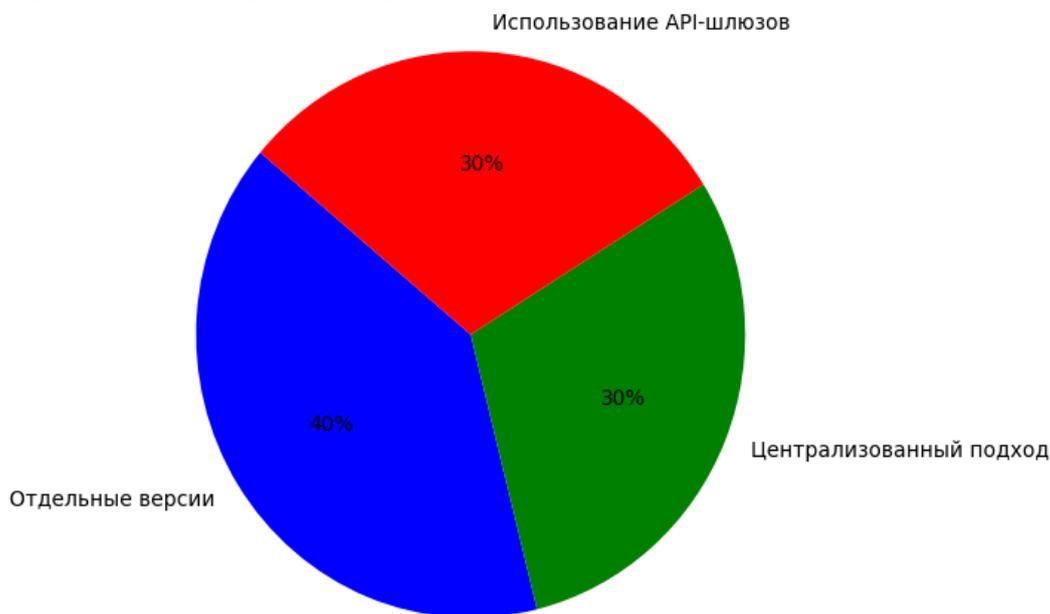


Рисунок 1

На рис. 1 показано, что 30% компаний используют *API*-шлюзы, 30% – централизованный подход и 40% компаний придерживаются стратегии управления версиями *API*, при которой для каждого микросервиса используются отдельные версии. Это указывает на предпочтение компаний к гибкости и автономии в

управлении версиями своих микросервисов. Однако также заметно, что варианты централизованного подхода и использования *API*-шлюзов для управления версиями также весьма популярны, каждый из них занимает около 30 % рынка. Это говорит о том, что значительная часть компаний стремится к более упорядоченному и стандартизированному управлению версиями *API*.

Эффективное управление версионностью *API* в микросервисной архитектуре

В контексте микросервисных архитектур управление версионностью *API* является фундаментальным аспектом, определяющим успешность и стабильность систем. Анализ реальных примеров компаний, успешно реализовавших управление версионностью *API*, позволяет выявить ключевые уроки и лучшие практики.

Одним из ярких примеров успешной реализации управления версионностью *API* является подход, применяемый компанией *Netflix*. Известный своей сложной микросервисной архитектурой, *Netflix* использует комбинацию централизованного и децентрализованного подходов к управлению версиями. Центральное управление версиями обеспечивается через их *API Gateway*, который координирует взаимодействие между микросервисами и клиентами. Это позволяет *Netflix* поддерживать стабильность взаимодействия между сервисами при внедрении новых функций и обновлениях.

Основные уроки из опыта *Netflix* включают в себя:

1. Гибкое управление версиями.

Netflix поддерживает несколько версий *API* одновременно, что позволяет постепенно переходить на новые версии без нарушения работы существующих сервисов.

2. Централизация через *API Gateway*.

Это упрощает управление версиями и маршрутизацию запросов, а также обеспечивает дополнительный уровень безопасности.

3. Автономия разработчиков.

Несмотря на централизацию через *API Gateway*, разработчики имеют свободу в управлении версиями своих микросервисов.

Другой пример – компания *Amazon* с ее микросервисной платформой *AWS*. *Amazon* применяет строгие стандарты для управления версиями *API*, что включает детальное планирование и тестирование перед внедрением изменений. Основной акцент делается на обратной совместимости, чтобы новые версии *API* не нарушали функциональность предыдущих версий.

Из опыта *Amazon* можно выделить следующие ключевые аспекты:

1. Строгое планирование изменений.

Очень важно тщательно планировать любые изменения в *API*, особенно в крупномасштабных микросервисных системах.

2. Обеспечение обратной совместимости.

Это критически важно для минимизации влияния обновлений на пользователей и другие микросервисы.

Оба эти примера показывают, что успешное управление версиями *API* в микросервисной архитектуре требует гибкого подхода, который сочетает в себе как централизованные, так и децентрализованные элементы. Важность такого подхода заключается в обеспечении стабильности и непрерывности предоставления услуг, одновременно позволяя достаточную гибкость для инноваций и развития.

Проблемы и вызовы в управлении версионностью API в микросервисных системах

Управление версионностью API в микросервисных архитектурах представляет собой сложную задачу, которая сталкивается с рядом типичных проблем и вызовов. Эти проблемы часто возникают из-за динамичности и распределенной природы микросервисных систем.

Одной из основных проблем является обеспечение обратной совместимости между различными версиями API. При обновлении API необходимо убедиться, что старые клиенты будут продолжать работать без изменений. Несоблюдение этого принципа может привести к сбоям в работе клиентских приложений и, как следствие, к ухудшению пользовательского опыта их использования.

Еще одним значительным вызовом является управление зависимостями между разными микросервисами. Каждый микросервис может зависеть от данных или функциональности, предоставляемой другими сервисами. При изменении API одного сервиса может возникнуть необходимость в изменении других сервисов, что увеличивает сложность управления системой.

Кроме того, существует проблема версионного «дрейфа» – ситуация, когда разные части системы используют различные версии API. Это может привести к несогласованности данных и поведения системы, усложняя тестирование и отладку.

Для преодоления этих проблем можно предложить следующие рекомендации и стратегии:

1. Плановое управление версиями.

Необходимо организовать регулярные обновления API и четко определить процедуры внедрения новых версий. Планирование изменений помогает снизить риск возникновения конфликтов и несогласованности в системе.

2. Документирование и согласование API.

Необходимо тщательное документирование API и согласование изменений с заинтересованными сторонами (разработчиками, администраторами, клиентами) обеспечит понимание и принятие новых версий всеми участниками процесса.

3. Применение API-шлюзов.

Необходимо использование API-шлюзов для управления версиями и маршрутизации запросов, что позволяет централизованно контролировать доступ к различным версиям API и облегчает процесс миграции на новые версии.

4. Тестирование обратной совместимости.

Регулярное тестирование API на предмет обратной совместимости поможет обнаружить и устранить потенциальные проблемы до того, как они повлияют на работу системы.

5. Инкрементное внедрение изменений.

Постепенное внедрение новых версий API с использованием стратегии «blue-green» деплоймента помогает минимизировать риски и облегчить переход на новые версии за счет параллельного функционирования двух производственных сред.

6. Управление зависимостями и согласованность.

Разработка механизмов для управления зависимостями между микросервисами и поддержание строгой согласованности данных между ними помогает предотвратить проблемы версионного дрейфа.

Таким образом, управление версионностью API в микросервисных системах требует комплексного подхода, сочетающего в себе стратегическое планирование, тщательное тестирование, эффективное управление зависимостями и централизованное контрольное управление. Применение этих рекомендаций и

стратегий позволяет создать устойчивую, гибкую и масштабируемую микросервисную архитектуру, способную адаптироваться к меняющимся требованиям и обеспечивать надежную работу системы.

Тенденции и будущее управления версионностью *API*

В сфере управления версионностью *API* микросервисных архитектур наблюдаются значительные изменения, вызванные быстрым развитием технологий. Основные тенденции в этой области ориентированы на автоматизацию, улучшение эффективности и облегчение процесса управления.

Современные методы управления версионностью *API* стремятся к максимальной автоматизации. Разработчики и инженеры внедряют инструменты и алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО), чтобы автоматически обрабатывать изменения в *API*, обеспечивать согласованность данных и поддерживать обратную совместимость. Это позволяет сократить ручной труд и минимизировать возможность ошибок, особенно в больших и сложных системах.

Интеграция ИИ и МО в управление версиями *API* обеспечивает более глубокий анализ взаимосвязей между различными сервисами, предоставляя предложения по оптимизации и автоматическому обновлению зависимостей. Такие системы способны самостоятельно адаптироваться к изменениям и поддерживать актуальность *API* без значительного вмешательства разработчиков.

Прогресс в области облачных технологий и контейнеризации оказывает существенное влияние на управление версиями *API*. Облачные платформы предоставляют гибкие и масштабируемые решения для размещения и управления микросервисами, в то время как контейнеризация облегчает развертывание и обновление сервисов. В будущем можно ожидать более тесной интеграции управления версиями *API* с облачными сервисами, что позволит компаниям более эффективно масштабировать и обновлять свои системы.

Важным аспектом является также рост использования *API Gateway* как центрального узла для управления версиями и маршрутизации запросов в микросервисных архитектурах. Это обеспечивает более упорядоченное и централизованное управление версиями, снижая сложность системы и упрощая процесс внедрения изменений.

Тенденции в управлении версионностью *API* напрямую влияют на стратегическое планирование и решения в бизнесе и технологиях. Компании, стремящиеся к цифровой трансформации, должны учитывать эти тенденции при разработке своих ИТ-стратегий. Эффективное управление версиями *API* становится критически важным фактором для поддержания конкурентоспособности, обеспечения устойчивости систем и предоставления качественных услуг.

Для адаптации компании к будущим изменениям в управлении версионностью *API* рекомендуется:

1. На постоянной основе проводить обучение и развитие компетенций сотрудников, особенно в области облачных технологий, ИИ и МО.
2. Совершенствовать процессы разработки и управления *API*, интегрируя автоматизированные инструменты и практики.
3. Разрабатывать стратегии управления версионностью *API*, учитывающие гибкость и масштабируемость систем, а также способность быстро адаптироваться к изменениям.

В целом, будущее для управления версионностью *API* обещает быть динамичным, с акцентом на автоматизацию, интеграцию с облачными сервисами и

улучшение процессов взаимодействия между сервисами. Эти изменения предоставят новые возможности для оптимизации и усовершенствования микросервисных систем.

Заключение

В заключении делается акцент на том, что ряд ключевых выводов и рекомендаций был получен на основе глубокого и всестороннего сравнительного анализа существующих методов управления версионностью *API* в микросервисных архитектурах. Этот анализ включал в себя не только теоретическое изучение различных подходов, но и практический обзор реальных кейсов компаний, успешно реализовавших эти методы в своих системах. Благодаря этому подходу были выявлены наиболее эффективные стратегии и практики, адаптированные к специфике микросервисных архитектур, и предложены конкретные рекомендации для их применения в разработке и управлении микросервисными системами.

Сравнительный анализ позволил также выявить основные проблемы и вызовы, связанные с управлением версионностью *API*, и определить наиболее перспективные направления для дальнейших исследований и развития в этой области. В частности, было отмечено значительное влияние технологических инноваций, таких как искусственный интеллект и машинное обучение, на процессы автоматизации управления версиями, что открывает новые возможности для оптимизации и повышения эффективности работы микросервисных систем.

В заключение подчеркивается, что успешное управление версионностью *API* является ключевым фактором для обеспечения стабильности, гибкости и масштабируемости микросервисных архитектур, а также для поддержания их долгосрочной устойчивости и развития. Результаты проведенного сравнительного анализа и сформулированные на его основе выводы и рекомендации представляют определенный вклад в область исследований микросервисных архитектур и управления версионностью *API*, предоставляя практические руководства для разработчиков, архитекторов и управленцев ИТ-проектов.

Литература

1. Handling Communication via APIs for Microservices. Дата обращения: 20 декабря 2023 года. URL: arXiv:2308.01302.
2. Towards an Architecture-centric Methodology for Migrating to Microservices. Дата обращения: 20 декабря 2023 года. URL: arXiv:2207.00507.
3. An Architectural Approach to Creating a Cloud Application for Developing Microservices. Дата обращения: 20 декабря 2023 года. URL: arXiv:2210.02102.
4. AI Techniques in the Microservices Life-Cycle: A Survey. Дата обращения: 20 декабря 2023 года. URL: arXiv:2305.16092.
5. Automate migration to microservices architecture using Machine Learning techniques. Дата обращения: 20 декабря 2023 года. URL: arXiv:2301.06508.