

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 7-2 2024 (ИЮЛЬ)

Учредитель журнала  
Общество с ограниченной ответственностью  
**«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

Журнал издается с 2011 года.

### Редакция:

Главный редактор  
**А.В. Царегородцев**  
Выпускающий редактор  
**Ю.Б. Миндлин**  
Верстка  
**М.А. Комарова**

Подписной индекс издания  
в каталоге агентства «Пресса России» — 80016  
В течение года можно произвести подписку  
на журнал непосредственно в редакции.

### Издатель:

Общество с ограниченной ответственностью  
**«Научные технологии»**

Адрес редакции и издателя:  
109443, Москва, Волгоградский пр-т, 116-1-10  
Тел./факс: 8(495) 142-8681

E-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru)  
<http://www.nauteh-journal.ru>

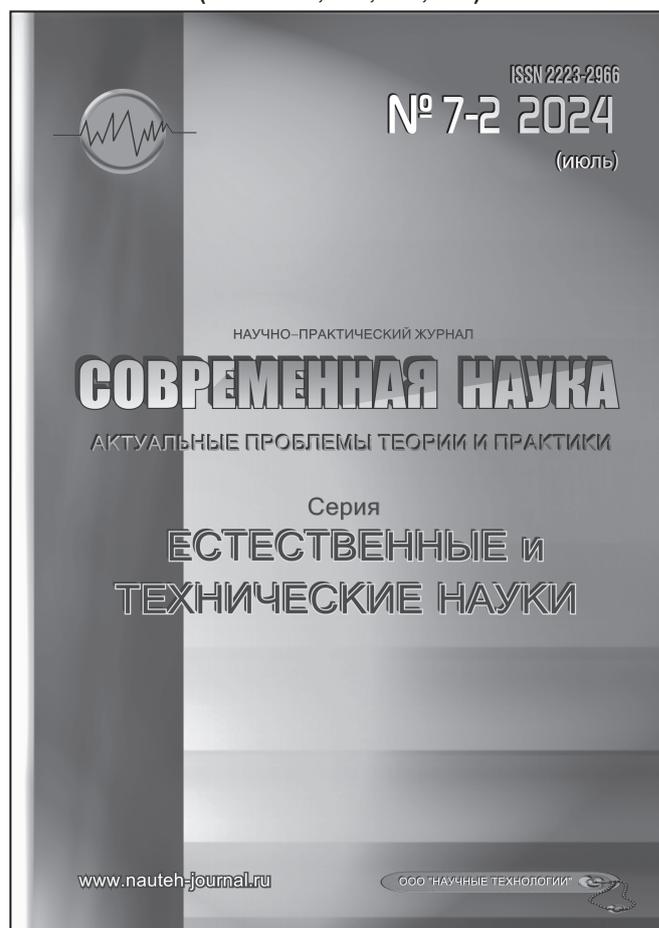
Журнал зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере массовых коммуникаций,  
связи и охраны культурного наследия.

Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС 77-44912 от 04.05.2011 г.

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.x, 2.3.x, 3.1.x)



### В НОМЕРЕ:

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ, ИНФОРМАТИКА,  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА  
И УПРАВЛЕНИЕ,  
КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Авторы статей несут полную ответственность  
за точность приведенных сведений, данных и дат.

При перепечатке ссылка на журнал  
«Современная наука:

Актуальные проблемы теории и практики» обязательна.

Журнал отпечатан в типографии  
ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296

Подписано в печать 24.07.2024 г. Формат 84x108 1/16  
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



# Редакционный совет

---

**Атаев Алевдин Рашитханович** — д.м.н., профессор, Дагестанский государственный медицинский университет

**Безруких Марьям Моисеевна** — д.б.н., профессор, Институт возрастной физиологии РАО

**Бекетов Сергей Валериевич** — д.б.н., ФГБНУ НИИ Пушного звероводства и кролиководства имени В.А. Афанасьева

**Белых Владимир Иванович** — д.м.н., доцент, Алтайский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Грачев Николай Николаевич** — доктор высшей степени в области технических наук (DoctorHabilitatus), профессор, Московский государственный институт электроники и математики НИУ ВШЭ (технический университет)

**Гусева Анна Ивановна** — д.т.н., профессор, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Зубкова Валентина Михайловна** — д.б.н., профессор, Российский государственный социальный университет

**Каллаев Нажмудин Омаркадиевич** — д.м.н., профессор, Дагестанский государственный медицинский университет

**Квасов Андрей Иванович** — д.т.н., профессор, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикабаева

**Корнеев Андрей Матиславович** — д.т.н., профессор, Липецкий государственный технический университет

**Корягина Наталья Александровна** — д.м.н., доцент, Пермский государственный медицинский университет им. ак. Е.А.Вагнера Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Кравец Бронислава Борисовна** — д.м.н., профессор, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Кулик Сергей Дмитриевич** — д.т.н., доцент, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Матвеев Всеволод Борисович** — д.м.н., профессор, ФГБУ РОНЦ им. Н.Н. Блохина, член-корреспондент РАН

**Миндлин Юрий Борисович** — к.э.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина

**Надежкин Сергей Михайлович** — д.б.н., профессор, Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур Россельхозакадемии

**Овезов Алексей Мурадович** — д.м.н., доцент, ГБУЗ МО Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского

**Олейникова Светлана Александровна** — д.т.н., доцент, Воронежский государственный технический университет

**Рахимов Ильгизар Ильясович** — д.б.н., профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет

**Ромашкова Оксана Николаевна** — д.т.н., профессор, Московский городской педагогический университет

**Симаков Юрий Георгиевич** — д.б.н., профессор, Московский государственный университет им. К.Г. Разумовского (ПКУ)

**Симоненков Алексей Павлович** — д.м.н., профессор, независимый эксперт

**Трапезов Олег Васильевич** — д.б.н., в.н.с., ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН»

**Федорова Оксана Ивановна** — д.б.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина

**Харитонов Михаил Анатольевич** — д.м.н., профессор, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова

**Царегородцев Анатолий Валерьевич** — д.т.н., профессор, Московский государственный лингвистический университет [redaktor3@nauteh.ru](mailto:redaktor3@nauteh.ru)

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## Общая биология

**Кольцов В.Б., Кондратьева О.В.** — Общие принципы мониторинга водных объектов и методики его осуществления в современных условиях  
*Koltsov V., Kondratieva O.* — General principles of monitoring of water bodies and methods of its implementation in modern conditions .....7

**Сопрунова О.Б., Чернухина О.С.** — Первичный скрининг фитопатогенных бактерий некоторых сортов семенного картофеля  
*Soprunova O., Chernukhina O.* — Primary screening of phytopathogenic bacteria of some seed potato varieties .....12

**Чудакова С.Е.** — Следы укусов на позвонке *Levnesovia transoxiana* (Hadrosauroida), как свидетельство падалядного поведения *Timurlengia euotica* (Tyrannosauroida)  
*Chudakova S.* — Bite marks on the vertebra of *Levnesovia transoxiana* (Hadrosauroida), as evidence of the carrion-eating behavior of *Timurlengia euotica* (Tyrannosauroida) .....18

## Информатика, вычислительная техника и управление

**Абдурахимова М.А., Видуто А.А., Елисеева Д.В., Назарова Д.Д., Малахов С.В.** — Гетерогенные сети: преимущества, недостатки, основные проблемы и перспективы развития  
*Abdurakhimova M., Viduto A., Eliseeva D., Nazarova D., Malakhov S.* — Heterogeneous networks: advantages, disadvantages, main problems, and development prospects .....26

**Аксенов С.Г., Лазарев П.Т.** — Нарративное моделирование в управлении социально-экономическими системами  
*Aksenov S., Lazarev P.* — Narrative modeling in the management of socio-economic systems .....31

**Аль Хаким Рида, Ковалева Е.А.** — Способы повышения эффективности передачи данных в системах дистанционного обучения

*Al Hakim Rida, Kovaleva E.* — Ways to improve the efficiency of data transmission in distance learning systems .....35

**Бухтуева И.А., Рубин И.М., Можаровский Е.А., Бобунов А.Ю., Яковешин А.Д.** — Трансформация b2b сектора с помощью генеративного искусственного интеллекта: потенциал и риски  
*Bukhtueva I., Rubin I., Mozharovskii E., Bobunov A., Yakovishin A.* — Transformation of the b2b sector using generative artificial intelligence: potential and risks .....46

**Гончаров К.А.** — Многокритериальный анализ альтернатив в задачах логистики  
*Goncharov K.* — Multicriteria analysis of alternatives in logistics problems .....52

**Гончаров К.А.** — Многокритериальный анализ альтернатив в задачах управления кадровым составом в организации  
*Goncharov K.* — Multicriterial analysis of alternatives in the tasks of personnel management in an organization .....56

**Груданов Н.А.** — Внедрение открытых инновационных платформ в городское управление через платформу «Умный Город»  
*Grudanov N.* — Implementation of open innovative platforms in urban management through the «Smart City» platform .....62

**Гуляев И.В., Курляк Д.В., Шабанова И.Н., Зубков А.В., Печенов И.П.** — Разработка моделей и методов анализа дыхательной динамики и человеко-компьютерного взаимодействия с использованием акселерометра и гироскопа  
*Gulyaev I., Kurlyak D., Shabanova I., Zubkov A., Pechenov I.* — Development of models and methods for analyzing respiratory dynamics and human-computer interaction using an accelerometer and a gyroscope .....67

**Зеленков Д.В., Труфанов А.И.** — Создание инструмента визуализации для сетевого анализа данных о землетрясениях в байкальской рифтовой зоне

- Zelenkov D., Trufanov A.* — Development of a visualization tool for network analysis of earthquake data in the baikal rift zone .....75
- Золотухина М.А.** — Разработка аналитико-прогностической модели для создания системы обеспечения безопасности на основе автоматического выявления аномалий и фейковых текстов с использованием алгоритмов машинного обучения  
*Zolotukhina M.* — Development of software system for security assurance based on automatic detection of anomalies and fake texts using machine learning algorithms .....80
- Золотухина М.А.** — Преодоление программного барьера: исследование перехода от одного языка программирования к другому в контексте разработки ПО для управления финансовыми ресурсами, прогнозирования и оптимизации с использованием методов машинного обучения на Golang  
*Zolotukhina M.* — Overcoming the software barrier: a study of the transition from one programming language to another in the context of software development for financial resource management, forecasting and optimization using machine learning methods on Golang .....89
- Зуев Д.Д.** — Основы и методы заполнения трёхмерных моделей полигонами  
*Zuev D.* — Fundamentals of Filling Three-Dimensional Models with Polygons .....99
- Кожемякин С.Ю., Селин А.А., Горелик С.С., Бугаев А.А.** — Разработка программного средства эвристического анализа приложений для операционной системы android  
*Kozhemyakin S., Selin A., Gorelik S., Bugaev A.* — Heuristic applications analysis software tool development for the android operating system. . . 105
- Короткова А.С.** — Применение смарт-контрактов и алгоритм их работы  
*Korotkova A.* — The use of smart contracts and the algorithm of their operation ..... 110
- Крицкова Е.А., Кеся М.С.** — Построение онтологий для информационных объектов  
*Kritskova E., Kesya M.* — Building ontologies for information objects ..... 113
- Макаров Д.А., Царегородцев А.В., Мухин И.Н., Волков С.Д.** — Анализ и прогнозирование угроз кибербезопасности  
*Makarov D., Tsaregorodtsev A., Mukhin I., Volkov S.* — Analysis and forecasting of cybersecurity threats . 117
- Николаев К.С.** — Обзор современных рекомендательных систем  
*Nikolaev K.* — Modern recommender systems' review ..... 125
- Николаева А.И., Забродин А.В.** — Автоматизация жизненного цикла программного обеспечения: реализация базового CI/CD конвейера  
*Nikolaeva A., Zabrodin A.* — Software lifecycle Automation: implementation of the basic CI/CD pipeline ..... 129
- Отрадных К.К., Страшнов С.В., Калинин В.Н.** — Разработка программных средств сбора и анализа динамики временных рядов на основе активности пользователей в масс-медиа  
*Otradnov K., Strashnov S., Kalinin V.* — Development of software tools for collecting and analyzing the dynamics of time series based on user activity in mass media ..... 137
- Петров А.Е., Пошев А. У.-Б.** — Повышение производительности строительных проектов с применением технологии Bim и блокчейн  
*Petrov A., Poshev A.* — Increasing the productivity of construction projects with the use of technology bim and blockchain ..... 148
- Пилипчук Е.А., Ягольницер О.В.** — Базы данных СОЖ: применение в производстве, обучении и автоматизации  
*Pilipchuk E., Yagolnitzer O.* — Databases Cutting Fluids: Applications in Manufacturing, Education and Automation ..... 154
- Попов А.А., Тихонов М.Р., Шидула О.С.** — Анализ видов и классификация ИТ-стратегий развития организаций  
*Popov A., Tikhonov M., Shikula O.* — Analysis of types and classification of IT strategies for the development of organizations ..... 157
- Присяжный А.О.** — Оптимизация кроссбраузерной эффективности высокопосещаемых веб-приложений

- Prisyazhnyy A.* — Optimization of cross-browser efficiency of highly visited web applications. . . . . 163
- Султан Небрас, Петров В.Е.** — Литературный обзор: применение автоматизированных цифровых производственных систем на основе цифровых ДВОЙНИКОВ  
*Sultan Nebras, Petrov V.* — Literature review: application of automated digital production systems based on digital TWINS . . . . . 168
- Султан Небрас, Петров В.Е.** — Обзор литературы по профилактическому техническому обслуживанию на основе цифровых двойников и его применению в интеллектуальном производстве  
*Sultan Nebras, Petrov V.* — Literature review on predictive maintenance based on digital twins and its application in intelligent manufacturing. . . . . 173
- Тарасов В.С.** — Система обучения и оценки успехов учащихся в МООК, интегрированный с интеллектуальным обучением  
*Tarasov V.* — A system for teaching and assessing student success in MOOCs, integrated and smart learning. . . . . 180
- Фигуров М.О., Мищук Б.Р.** — Математическое моделирование при разработке экономической модели для многопользовательского онлайн-проекта  
*Figurov M., Mishchuk B.* — Mathematical modeling in the design of an in-game item distribution system in the virtual economy of an online project. . . . . 186
- Хайров М.Р., Сабирова Д.И., Новикова Д.С.** — Исследование точности работы алгоритмов кластеризации текстов, написанных на естественных языках  
*Khairov M., Sabirova D., Novikova D.* — Study of the accuracy of clustering algorithms for texts written in European languages . . . . . 190
- Царегородцев А.В., Мухин И.Н., Волков С.Д.** — Методика оценки уровня цифровой автономии информационного продукта  
*Tsaregorodtsev A., Mukhin I., Volkov S.* — Methodology for assessing information product digital autonomy level . . . . . 196
- Шалагинова О.Б., Стахно Р.Е.** — О решении обратных задач динамики  
*Shalaginova O., Stakhno R.* — On solving inverse problems of dynamics . . . . . 204
- Шарара Симбараше** — Возможность встраивания датчиков летучих органических соединений (ЛОС) в 3d-принтеры для моделирования плавленного осаждения (FDM) для расширенного мониторинга и контроля окружающей среды  
*Sharara Simbarashe* — Possibility of embedding volatile organic compound (VOCS) sensors into 3d printers fused deposition modeling (FDM) for advanced environmental monitoring and control. . . . . 212
- Шранк А.А.** — Современные методы использования инвертированного индекса  
*Shrank A.* — Recent methods of using the inverted index. . . . . 220
- Клиническая медицина
- Ванин Э.П.** — Современные методы и подходы к повышению эффективности адгезивной фиксации в несъемном протезировании  
*Vanin E.* — Modern methods and approaches to improving the effectiveness of adhesive fixation in non-removable prosthetics. . . . . 223
- Лавренюк В.В., Коваленко Г.В., Кудлаева Ю.А., Галимова Е.С., Гончарова Ю.В.** — Криптококковый менингоэнцефалит у пациентов с ВИЧ-инфекцией. Случаи успешного лечения  
*Lavrenyuk V., Kovalenko G., Kudlaeva Ju., Galimova E., Goncharova Ju.* — Cryptococcal meningoencephalitis in patients with HIV infection. Cases of successful treatment . . . . . 227
- Ляшенко Е.Н., Бушуева Д.А., Мукосий Л.А.** — Гестационный сахарный диабет: современные знания и достижения в области диагностики, ведения и здоровья матери и плода  
*Lyashenko E., Bushueva D., Mukosiy L.* — Gestational diabetes mellitus: current knowledge and achievements in the field of diagnosis, management, and maternal and fetal health. . . . . 234
- Мелкумян Г.А.** — Потеря зубов в результате гранулематозного периодонтита после перенесенной коронавирусной инфекции. анализ 8-ми случаев из практики  
*Melkumian G.* — Tooth loss due to granulomatous periodontitis after coronavirus infection. a case report of eight cases. . . . . 244

<b>Мирович Е.Е.</b> — Критерии обоснования применения синтетических материалов в хирургическом лечении пролапса тазовых органов <i>Mirovich E.</i> — Criteria for justifying the use of synthetic materials in the surgical treatment of pelvic organ prolapse ..... 251	<i>Tyumina O., Kalyuzhnaya N., Shevchuk A., Ibragimova A., Ivanova T., Balter R., Ismatullin D.</i> — The results of bacteriological studies in early pregnancy in women at risk of miscarriage ..... 263
<b>Стрельцова Е.В.</b> — Связь гиперплазии десен с микрофлорой полости рта у пациентов детского возраста со съёмными ортодонтическими конструкциями <i>Streltsova E.</i> — Relationship of gingival hyperplasia with oral microflora in children's patients with removable orthodontic constructions ..... 258	<b>Щавинская А.В.</b> — Роль молекулярно-генетических характеристик глиальных опухолей в эпилептизации головного мозга <i>Shchavinskaya A.</i> — The role of molecular genetic characteristics of glial tumors in brain epilepsy ... 269
<b>Тюмина О.В., Калюжная Н.С., Шевчук А.А., Ибрагимова А.Р., Иванова Т.В., Балтер Р.Б., Исматуллин Д.Д.</b> — Результаты бактериологических исследований на раннем сроке беременности у женщин с угрозой невынашивания	<b>Щавинская А.В.</b> — Предикторы развития опухоль-ассоциированной структурной эпилепсии. Вклад перитуморозной зоны (PTZ) в создание эпилептической сети <i>Shchavinskaya A.</i> — Predictors of the development of tumor-associated structural epilepsy. Contribution of the peritumoral zone (PTZ) to the creation of the epileptic network ..... 275
	Наши авторы ..... 281

# ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И МЕТОДИКИ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

## GENERAL PRINCIPLES OF MONITORING OF WATER BODIES AND METHODS OF ITS IMPLEMENTATION IN MODERN CONDITIONS

V. Koltsov  
O. Kondratieva

*Summary.* The article examines the general principles of monitoring of water bodies and methods of its implementation in modern conditions. The main levels of surveillance and monitoring parameters are described the features of monitoring the state of the bottom, the mode of use of water protection zones, morphometric changes of water bodies are presented.

*The goal of the study* is to describe the basics of monitoring water bodies, analyze the main methods of monitoring water bodies, identify advantages and disadvantages.

*Materials and methods of research.* The research methodology is based on the analysis of theoretical positions on this issue, methods of comparison, complex synthesis, observation are used.

*Results and conclusions.* The features, advantages, and disadvantages of the monitoring system of the condition of aquatic bodies and its methods were identified. Their elimination is possible considering the modern requirements of the external environment, using modern control techniques, including monitoring the process of contamination of large areas.

*Keywords:* protection, water resources, pollution, bottom, channel, monitoring.

**Кольцов Владимир Борисович**

Доктор химических наук., профессор, ФГОУ ВО  
«Национальный исследовательский университет  
«НИИ МИЭТ», Россия, г. Москва, г. Зеленоград  
koltsov\_v\_b@mail.ru

**Кондратьева Ольга Владимировна**

Кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
Российский государственный аграрный университет  
МСХА имени К. А. Тимирязева; доцент, ФГБОУ ВО  
Московский Технологический Университет  
Связи и Информатики  
olgakoltsova@mail.ru

*Аннотация.* Статья рассматривает общие принципы мониторинга водных объектов и методики его осуществления в современных условиях. Описаны основные уровни наблюдений и параметры мониторинга. Представлены особенности наблюдений за состоянием дна, режим использования водоохранных зон, морфометрические изменения водных объектов.

*Цель исследования* — описание основ мониторинга водных объектов, анализ основных методик осуществления наблюдения за водными объектами, выявление преимуществ и недостатков.

*Материалы и методы исследования.* Методика исследования базируется на анализе теоретических положений по данной проблематике, использованы методики сравнения, комплексного синтеза, наблюдения.

*Результаты и выводы.* Были выявлены особенности, преимущества и недостатки системы мониторинга состояния водных объектов и ее методик. Их устранение возможно при учете современных требований внешней среды, за счет применения современных методик контроля, включающих отслеживание процесса загрязнений больших территорий.

*Ключевые слова:* охрана, водные ресурсы, загрязнение, дно, русло, мониторинг.

## Введение

В настоящее время увеличивается рост воздействия внешних и антропогенных факторов на природные условия. Это оказывает влияние на появление экологических, социально-экономических проблем, губительно влияет на атмосферные изменения, поверхностные воды и так далее. Именно поэтому актуальным является необходимость всестороннего изучения изменений качества водных ресурсов, выявления действенных методик мониторинга состояния водных объектов.

Необходимой базой для управления качеством водных ресурсов являются надежные данные экологических наблюдений. В большинстве развитых стран большое распространение получают информационные системы, которые связаны с охраной и управлением во-

допользования. Водные ресурсы — это основа социально-экономического роста государства. От их состояния зависят: характер и мощность производительных сил, особенности ведения хозяйства, эффективность водоемких производств [1].

## Обзор литературы

Экологическое состояние водных ресурсов нашей страны стремительно ухудшается в связи с особенностями нерационального потребления и усиления антропогенного воздействия. Российская Федерация сосредотачивает на своей территории более миллиона речных сетей. Это определяет основу поставки воды на нужды граждан страны. Активное потребление данного вида ресурсов требует улучшения методик мониторинга за ними. Необходимо получение большего числа гидро-

логических данных, поэтому необходимо применение определенного числа методик для наблюдения за состоянием рек. В настоящий момент число проверочных речных пунктов составляет всего пять процентов от необходимого количества. Именно поэтому мониторинг гидрометеорологических показателей находится на недостаточном уровне и использует лишь часть необходимых параметров оценки [5, с. 70].

Мониторинговая система служит основой формирования данных о характере загрязнений окружающей среды. Она используется также в целях поддержки водоохранной политики. Основу ее занимает поиск мест хозяйственной деятельности, типа загрязняющих веществ, которые оказывают негативное воздействие на водную и любую другую экологическую среду. При этом происходит расстановка приоритетов при выборе вида ресурсов. Мониторинг состояния водных объектов должен производить выборку эффективных методик расчёта загрязнения, выбирать определенные возможности, которые позволят изменить положение дел к лучшему. Разработка программ мониторинга за загрязнением объектов водной среды организуется при связи с водоохранными ведомствами, которые осуществляют управленческую деятельность [6, с. 191].

Структура государственного мониторинга состоит из определенных компонентов, к которым относят:

- Анализ поверхностных объектов водной среды.
- Осуществление работ в области гидрометеорологии и смежных категориях.
- Оценка состояния прибрежных территорий и дна.
- Оценка состояния водоохраных зон.
- Оценка состояния подземных вод.
- Анализ состояния технических сооружений, объема отведенных и потребленных вод [8].

Главными направлениями системы водоотведения в нашей стране является повышение степени чистоты воды и надежности сетей и сооружений водоохраных зон. В настоящий момент наиболее уязвимыми частями механизма отвода сточных вод является канализационная система. Это связано с высоким уровнем износа [2, с. 38].

Оценка экологического состояния водных ресурсов должна производиться при учете характеристик биоты, а также абиотической составляющей экосистемы. По Дмитриеву В.В. данный тип оценки производится путем анализа параметрических состояний среды, в которой существуют живые организмы. Данные состояния находятся в условиях естественного или антропогенного механизма развития. Важным является оценка функционирования экосистем объекта природы в измененном характере условий. Понятие интегральной оценки объединяет в себе разнородные оценки, которые состоят из множества критериев. Данную оценку удобно воспроизводить путем методики сводного показателя [3, с. 44].

Таким образом, параметры мониторинга объектов водной среды должны включать в себя:

- Основные цели проведения мониторинга.
- Объем, видовую характеристику проблемных вопросов.
- Место проведения мониторинга.
- Основные критерии анализа.
- Выделение необходимых ресурсов для анализа.
- Порядок обеспечения охраны здоровья и труда выполняющих мониторинг сотрудников [6, с. 191].

### Материалы и методы исследования

Методика исследования базируется на анализе теоретических положений по данной проблематике, эмпирическом анализе методик мониторинга состояния водных объектов. Используются методики сравнения, комплексного синтеза, наблюдения.

### Результаты и обсуждение

Развитие системы мониторинга состояния водных ресурсов предполагает динамичное наблюдение за изменением состояния водных ресурсов и объектов. Для качественного анализа необходимо большое количество методик и техник. Одной из них является методика поиска участков с сильным объемом загрязнения. Она позволяет найти конкретную точку, которая требует проверки по всем параметрам (рисунок 1).



Рис. 1. Методика выявления территорий с проблемой экологического состояния водных объектов [7, с. 36]

Представим общую схему мониторинга состояния экологических систем:

1. Рекогносцированный контроль — необходим в рамках мониторинга общей ситуации водной и наземной территории. Основной целью данных методик является оценка фактического состояния объекта, степени антропогенного воздействия, степени изменений после определения проблемной ситуации. Контроль может проводиться один раз в год или несколько лет, в зависимости от степени загрязнения и потребностей. Особенности применения данных методик представлены на рисунке 2 (рисунок 2).



Рис. 2. Применение методов контроля разного уровня [7, с. 37]

Представим общую схему мониторинга состояния экологических систем:

2. Рекогносцированный контроль — используется для оценки общего состояния объектов водной или наземной среды. Он применим одновременно с методами аэрокосмической съемки, наземного визуального и инструментального обследования, методов биотестирования и расчетов. Основной целью данных методик является оценка фактического состояния объекта, степени антропогенного воздействия, степени изменений после определения проблемной ситуации. Контроль может проводиться один раз в год или несколько лет, в зависимости от степени загрязнения и потребностей. Особенности применения данных методик представлены на рисунке 2 (рисунки 2).
3. Постоянный контроль — используется для выявления особо загрязненных участков. Производится при помощи оценки динамических изменений в процессе вредного воздействия на водную среду. В данном типе мониторинга предпочтительны методика стационарной сети наблюдений, метод аэрокосмического сканирования, прогнозирование ситуации при помощи расчетных методик.

Данный способ контроля выполняется один раз в десять дней.

4. Разовый контроль — выполняется в проблемных очагах по мере необходимости. Он позволяет использовать средства разрешающей способности, получать конкретные параметры определенной проблемы.
5. Прогнозирующий контроль — оценивает постоянство водной среды. Выявляет недопустимые отклонения от нормы. Производится контроль основных источников загрязнения и их интенсивности, оценивается состояние водных объектов, проверяется степень загрязненности вредными агентами [5, с. 16].

Уровни мониторингового исследования позволяют:

- Определить степень распространения загрязнения по территории.
- Сопоставить результаты различных методик и анализов.
- Обеспечивать структуры власти необходимой для принятия решений информацией. На основе нее назначаются створы мониторинговых наблюдений (рисунок 3).

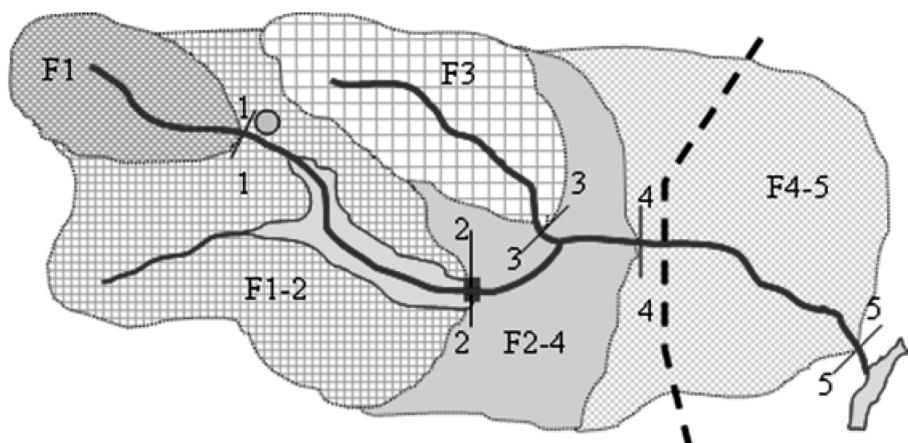


Рис. 3. Пример назначения створов мониторинговых наблюдений [7, с. 41]

Методика мониторинга процессов деформации дна и берега необходима для отслеживания:

- Деформации русловых потоков, определение наносного стока, объемов и параметров русла, скорости потока.
- Эрозионных процессов берега, уровня расположения водных объектов.
- Загрязнение грунта дна. Оно связано с определением количества загрязняющих веществ на определенный участок грунта [9,10].

Выделим также методику контроля изменений качества воды. Она проводится с помощью:

- Определенных наблюдений стационарного характера. В первую очередь определяют гидрологические, гидрохимические, гидробиологические показатели. Они должны быть связаны между собой цепочкой периодических наблюдений.
- Расчетных методик, которые оценивают закономерности измерения параметров, что приводит к сокращению их количества.
- Передвижных станций для разового обследования по интересующим параметрам.
- Летательных аппаратов, которые отслеживают масштаб загрязнения.

Данные методики оценки изменений дна и водной толщи нацелены на осуществление комплексного подхода рассмотрения водного объекта с позиций единства и целостности, что отвечает основному принципу системных исследований. Они осуществляют анализ изменений отдельных элементов водной среды и ее реакцию на внешнее воздействие загрязняющих веществ (рисунок 4).

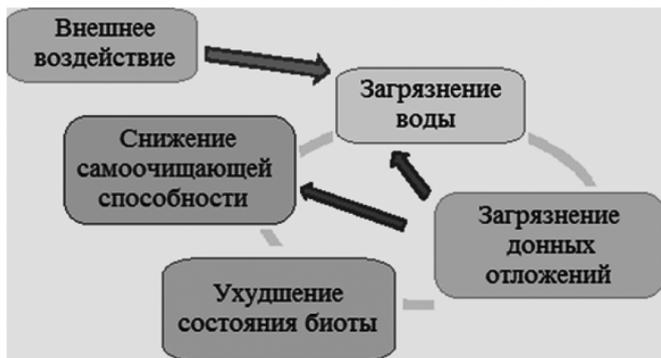


Рис. 4. Модель реакции водной среды на внешнее воздействие загрязняющих веществ [7, с. 53]

Мы считаем, что у данной системы мониторинга имеются как существенные достоинства, так и недостатки. Среди них выделим:

- Отсутствие в данной цепи методик анализа общего состояния экосистемы и последствий ее загрязнения.
- Большинство методик охватывают ограниченный участок, что приводит к пропуску проблемных зон и возникновению очагов риска.

- Отсутствие мобильности контроля в выявлении негативных явлений.

Предлагаем определенную последовательность преодоления данных недостатков:

1. Разработка исследовательских принципов по мониторингу состояния водных объектов.
2. Создание налаженной системы мониторинга объектов крупного масштаба и основных очагов загрязнения.
3. Создание мониторинговой среды анализа чрезвычайных экологических бедствий.
4. Выделение бюджета на оснащение участников мониторинговой системы современным оборудованием для сбора, анализа и хранения данных.
5. Создание информационно-коммуникационной среды, которая будет источником необходимых данных.

Также предлагается использование методов космического и авиа зондирования, что позволит более точно отследить параметры глубины воды, ширины водных объектов, объема загрязнений. Данная система мониторинга требует дополнения разовым контролем и использования передвижных станций с укомплектовкой беспилотными летательными средствами (рисунок 5). Данные станции позволяют проводить комплексное обследование определенного участка для выявления сути проблемы.



Рис. 5. Модель контроля территории при помощи взаимосвязи наземных и авиа способов. [7, с. 56]

### Заключение и выводы

Таким образом, мы выявили, что система мониторинга состояния водных объектов и ее методики имеют определенные преимущества и недостатки. Их устранение возможно при учете современных требований внешней среды, за счет применения современных методик контроля, включающих отслеживание процесса загрязнений больших территорий. К примеру, предлагаем использование методов космического и авиа зондирования, что позволит более точно отследить параметры глубины воды, ширины водных объектов, объема загрязнений. Авиа и наземные наблюдения должны работать в четкой взаимосвязи, что позволит улучшить измерение необходимых параметров и проверить точность оценки результата наблюдений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы Международной студенческой научной конференции «студенческий научный форум», Москва, 01 декабря 2020 года — 06 2021 года. Том VII. — Москва: ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ЕВРОАЗИАТСКАЯ НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА», 2021. — 111 с. — ISBN 978-5-6044482-3-7. — EDN XMONDD. (дата обращения: 26.03.2024).
2. Волосухин В.А. Водоснабжение и водоотведение российского Причерноморья в условиях роста антропогенных воздействий и климатических изменений / В.А. Волосухин, М.А. Бандурин. — Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. — 197 с. — EDN PCPCRI. (дата обращения: 26.03.2024).
3. Зуева Н.В., Козлова А.В., Куличенко А.Ю. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНОГО ОБЪЕКТА // Труды Карельского научного центра РАН. — 2018. — №3. — С. 43–56 DOI: 10.17076/lim706.
4. Кочарян А.Г. Современное состояние мониторинга водных объектов и пути его совершенствования / А.Г. Кочарян, И.А. Нечаев, Е.В. Мясникова // Мелиорация и водное хозяйство. — 2009. — № 6. — С. 16–19. — EDN MUSIGP. (дата обращения: 26.03.2024).
5. Маркин В.Н. Некоторые вопросы организации мониторинга водных объектов в современных условиях / В.Н. Маркин, В.В. Шабанов // Природообустройство. — 2012. — № 3. — С. 70–77. — EDN PCSMNV. (дата обращения: 26.03.2024).
6. Географическое изучение территориальных систем: Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Пермь, 03–04 декабря 2020 года. — Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. — 453 с. — ISBN 978-5-7944-3575-7. — EDN CYPEWX. (дата обращения: 26.03.2024).
7. Шабанов В.В. Ведение мониторинга водных объектов в современных условиях / В.В. Шабанов, В.Н. Маркин. — Москва: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. — 151 с. — ISBN 978-5-9675-1115-8. — EDN XSXRTT. (дата обращения: 26.03.2024).
8. Мониторинг водных объектов: цель, категории пунктов наблюдения, периодичность проведения // fb.ru URL: <https://fb.ru/article/461139/monitoring-vodnyih-obyektov-tsel-kategorii-punktov-nablyudeniya-periodichnost-provedeniya> (дата обращения: 26.03.2024).
9. Очистные сооружения в 2 ч. Часть 1: Учебник и практикум / В.И. Каракеян, В.Б. Кольцов, О.В. Кольцова, В.И. Каракеян. — 1-е изд. — Москва: Издательство Юрайт, 2017. — 277 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-02026-7. — EDN ZSWPTZ. (дата обращения: 26.03.2024).
10. Кольцов В.Б. ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ в 2 ч. Часть 2: Учебник и практикум / В.Б. Кольцов, О.В. Кольцова. — 1-е изд. — Москва: Издательство Юрайт, 2016. — 314 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-9916-8178-0. — EDN XMUEPZ. (дата обращения: 26.03.2024).

© Кольцов Владимир Борисович (koltsov\_v\_b@mail.ru); Кондратьева Ольга Владимировна (olgakoltsowa@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПЕРВИЧНЫЙ СКРИНИНГ ФИТОПАТОГЕННЫХ БАКТЕРИЙ НЕКОТОРЫХ СОРТОВ СЕМЕННОГО КАРТОФЕЛЯ

## PRIMARY SCREENING OF PHYTOPATHOGENIC BACTERIA OF SOME SEED POTATO VARIETIES

**O. Soprunova  
O. Chernukhina**

*Summary.* The article presents the results of research on the identification of phytopathogenic bacteria in seed potatoes of the Impala and Gala varieties grown in the Limansky district of the Astrakhan region. The research was carried out in the laboratory of the Department of Applied Biology and Microbiology of the Astrakhan State Technical University. During the work, standard methods for identifying and identifying bacterial isolates were used. As a result of this work, 9 strains of bacterial isolates, presumably belonging to the genera: *Agrobacterium*, *Clavibacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Erwinia*, were isolated from seed potato tubers of the Impala and Gala varieties. Thus, studying the biodiversity of phytopathogenic microorganisms, isolating bacterial cultures, and analyzing their characteristics are key methods for developing measures and strategies to control crop diseases.

*Keywords:* Potato, variety, bacterial isolates, phytopathogenic, macerate plant tissue, rot, spotting.

### Введение

Картофель является одной из самых востребованных и обширно употребляемых в мире культур. Его клубни могут быть применены как в качестве исходных продуктов для производства питания, так и в качестве технических или кормовых веществ.

Мировое производство картофеля продолжает расти и составляет около 360 млн тон в год, это свидетельствует о значимости этой культуры для обеспечения продовольственной безопасности и питания населения по всему миру. Согласно отчету Комиссии по сельскохозяйственным вопросам и продовольствию ООН (ФАО), годовые финансовые потери от болезней, затрагивающих урожай картофеля, составляют 3,4 миллиарда долларов, что равно 11,6 % от общего объема производства. Выращивание клубней картофеля представляет собой не легкое занятие, включающее в себя постоянную необходимость защиты от вредоносных организмов и болезней на всех этапах роста культуры, поскольку картофель очень подвержен поражениям от болезней. В России обнаружены практически все возможные заболевания

*Аннотация.* В статье представлены результаты исследований по выявлению фитопатогенных бактерий семенного картофеля сортов Импала и Гала, выращенный в Лиманском районе Астраханской области. Исследования были проведены в лаборатории кафедры «Прикладная биология и микробиология» Астраханского государственного технического университета. В ходе работы применялись стандартные методики по выявлению и идентификации бактериальных изолятов. В результате данной работы из клубней семенного картофеля сортов Импала и Гала выделено 9 штаммов бактериальных изолятов, предположительно относящихся к родам: *Agrobacterium*, *Clavibacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Erwinia*. Таким образом, изучение биоразнообразия фитопатогенных микроорганизмов, изоляция бактериальных культур и анализ их характеристик являются ключевыми методами для разработки мер и стратегий по борьбе с заболеваниями сельскохозяйственных культур.

*Ключевые слова:* картофель, сорт, бактериальные изоляты, фитопатогенны, мацерировать растительную ткань, гниль, пятнистость.

картофеля, но особенно опасными являются грибковые и бактериальные инфекции, например: фитофтороз, различные формы парши, фузариозная и фомозная гниль и многие другие [3].

Бактериозы, вызываемые фитопатогенными бактериями, представляют собой распространенные инфекционные заболевания картофеля, которые встречаются практически повсюду, где выращивается этот вид культуры. Эти болезни приводят к высокой гибели растений на поле, гниению клубней как при посадке, так и в период созревания нового урожая, а также к порче клубней при хранении. Бактериальные болезни также ослабляют пораженные растения и могут вызвать у них нарушения в функционировании. В результате потери урожая могут достигать более 50 %, особенно в те годы, когда бактериальные заболевания распространены широко.

Внедрение механизированной уборки способствовало распространению бактериозов в последние годы из-за увеличения механических повреждений клубней. Бактериозы представляют чрезвычайную опасность из-за низкой устойчивости к ним большинства культивируемых сортов картофеля.

**Сопрунова Ольга Борисовна**

Доктор биологических наук, профессор,  
Астраханский государственный  
технический университет  
soprunova@mail.ru

**Чернухина Олеся Сергеевна**

аспирант, Астраханский государственный  
технический университет  
olesya.melnikova.92@bk.ru

Самыми опасными являются следующие заболевания картофеля: бурая бактериальная гниль (вызывается *Ralstonia solanacearum*), кольцевая гниль (вызывается *Clavibacter michiganensis (Corynebacterium sepedonicum)*), мокрая гниль (вызывается бактериями родов *Erwinia*, *Corynebacterium*, *Bacillus* и *Pseudomonas*), черная ножка (вызывается бактериями рода *Dickeya*), парша обыкновенная (вызывается *Streptomyces scabiei (Actinomyces scabies Güssow)*). Бактериальные инфекции могут поражать растение все растение или его отдельные части, органы. Развитие бактериозов зависит от сочетания внешних условий. При благоприятных условиях (температура воздуха 25–28°C, повышенная влажность воздуха и почвы) бактерии быстро размножаются и становятся более инфекционными.

Внешние проявления бактериальных заболеваний картофеля включают гниль, пятнистость и увядание. Основными источниками инфекции являются больные клубни и части пораженных растений в почве. Фитопатогенные бактерии передаются через зараженный посадочный материал, грунтовые воды, капли дождя и росы, воздух, насекомых и даже человека [2].

Производство картофеля в Астраханской области является одной из ключевых отраслей сельского хозяйства. Увеличение количества высококачественного картофеля требует внедрения комплекса мер по защите растений от болезней, вредителей и сорняков. Оценка качества картофеля должна начинаться с анализа семенного материала, поскольку фитопатогены развиваются внутри растений и могут находиться в спящем состоянии. Посадка зараженных семян становится причиной заражения клубней данного растения.

Целью исследования являлось выделение бактерий из семенного картофеля и первичный скрининг наличия у выделенных изолятов фитопатогенных свойств.

#### Материал и методы исследований

Для изоляции чистых культур бактерий в ходе исследований использовались семенной материал картофеля сортов Импала и Гала, выращенный в Лиманском районе Астраханской области.

Картофель Гала крайне неприхотливый, раннеспелый сорт, хорошо приспосабливается к любым условиям, для него важен лишь обильный полив. Нет жестких сроков посадки, а сбор урожая можно начать уже на 70–80 день. Клубни — круглоовальные, с желтоватой кожицей; мякоть — бледно-желтая с хорошим вкусом, почти не разваривается и не темнеет. Содержание крахмала около 13 %, достаточно низкий показатель, поэтому картофель подходит для здорового питания. Растет картофель этого сорта быстро, хранится долго.

Импала — сорт картофеля раннего срока созревания. Клубни крупные, овальной и удлинненно-овальной формы, выровненные, со светло-желтой мякотью; кожура гладкая, желтого окраса. Сорт столового назначения, с хорошими вкусовыми свойствами. Мякоть после варки не темнеет. Содержание крахмала — 10,5–14,6 %, сухого вещества — 17,7 %.

В ходе исследований использовали клубни картофеля с наиболее характерными признаками поражения фитопатогенами (наличие пятнистости, сухой и влажной гнили). Клубни мелко нарезали и смешали с водой затем полученные суспензии засеивали с помощью шпателя на питательные среды для выделения и культивирования большинства фитопатогенных бактерий: Кинг В, TZCA, YDC. Также использовали селективную среду YMA для получения и культивирования фитопатогенных бактерий рода *Agrobacterium*. Инкубационный период составил 7 суток. Для получения чистых культур бактерий из выросших на чашках Петри изолированных колоний, осуществляли пересев на соответствующие питательные среды. Чистоту полученных изолятов оценивали визуально и микроскопией фиксированных окрашенных препаратов [4].

Далее осуществляли проверку патогенности бактериальных изолятов в отношении картофеля, моркови и свеклы (проявление признаков заболевания, гниения, мацерация тканей), что способствует установить наличие фитопатогенности бактериальных изолятов, по способности расщеплять крахмал, клетчатку и каротин. [4]. Корнеплоды картофеля, свеклы и моркови промыли в проточной и стерильной воде и высушивали. С использованием скальпеля нарезали диски корнеплодов, после чего они были стерилизованы в 96% этаноле и обожжены в пламени спиртовки. Затем диски были помещены в чашки петри на влажные фильтры. Каждый диск был посеян суточными культурами исследуемых бактериальных изолятов. Чашки петри с дисками были убраны в термостат для культивирования при оптимальной температуре 30 °C в течение трех дней. Определение наличия или отсутствия мацерации проводилось визуально по колониям на дисках, изменению их структуры, окраске и другим признакам [5].

Установив, что бактериальные изоляты патогенны, определяли их морфологические, культуральные и физиолого-биохимические свойства, необходимые для предварительной идентификации.

Морфологические признаки бактерий (форму клеток, наличие/отсутствие спор и т. п.), выросших на питательных средах, изучали на фиксированных и окрашенных препаратах с использованием светового микроскопа Микромед P-1-LED. Для анализа физиолого-биохимических свойств изолятов применяли суточную культуру

бактерий и стандартные методы идентификации, такие как окраска по методу Грама, определение грампринадлежности с использованием раствора гидроксида калия, проверка подвижности и определение наличия каталазы.

Определение подвижности [5]. Исследование подвижности бактерий проводили на «голодном» агаре. Среду разлили в пробирки (3–5 мл). Посев бактериальных изолятов проводили методом укола микробиологической петлей в питательную среду в пробирки. Пробирки инкубировали при 37 °С в термостате в течение 3-х суток. Неравномерное изменение цвета среды (помутнение) в пробирках свидетельствует о подвижности бактериальных изолятов, а рост бактерий у линии укола свидетельствует об их неподвижности.

Определение каталазы [5]. На предметное стекло наносили биомассу исследуемой культуры бактерий и 3% раствор перекиси водорода. При положительной реакции хорошо заметно выделение кислорода, по образованию пузырьков газа, что свидетельствует о продукции каталазы исследуемым штаммом.

Определение грампринадлежности бактерий [5]. Каплю 3 % раствора гидроксида калия наносили на предметное стекло и туда же добавили исследуемую бак-

териальную культуру и перемешали. При поднятии бактериальной петли с данной взвеси происходит ее поднятие за петель, то данный бактериальный изолят принадлежит к грамотрицательным, если нет — к грамположительным.

Предварительную идентификацию выделенных изолятов бактерий, проводили по сопоставлению полученных результатов по исследованию культурально-морфологических и физиолого-биохимических признаков, используя «Определитель бактерий Берджи» [6].

Каждый эксперимент ставили минимум в трехкратной повторности и данные обрабатывали статистически.

**Результаты исследований и их обсуждение.**

По результатам исследований выделено 9 штаммов бактериальных изолятов, 5 изолятов выделено из клубней картофеля сорта Импала, 4 изолята — сорта Гала. Результаты исследования представлены в таблице 1.

На питательной среде YMA выделены 2 бактериальных штамма. Первый штамм по морфологическим свойствам имеет следующие признаки: колонии светло-оранжевого цвета неправильной формы d= 0,7 см; по культуральным свойствам: Gr+ палочки со спорами,

Таблица 1.

Культурально-морфологические и физиолого-биохимические свойства выделенных бактериальных изолятов

Питательные среды	Свойства изолятов бактерий						Предварительная идентификация / выявление бактерий на картофеле
	культуральные	морфологические	физиолого-биохимические				
			подвижность	каталазная активность	окраска по методу Грама	мацерующая активность	
YMA	Колонии бежевого цвета, круглые слизистые d= 0.1 см	Gr– палочки расположены одиночно, длина 1,42 мкм, ширина 1,2 мкм	+	+	–	+	p. <i>Agrobacterium</i> / сорта Гала и Импала
	Колонии светло-оранжевого цвета неправильной формы d= 0.7 см	Gr+ палочки со спорами, длина 2,84 мкм, ширина 1,42 мкм.	+	+	+	+	p. <i>Bacillus</i> / сорта Гала и Импала
Кинг В	Колонии желтого цвета выпуклые d= 0.2 см	Gr– палочки, длинна 1,42 мкм, ширина 1,1 мкм	+	+	–	+	p. <i>Erwinia</i> / сорт Гала
	Колонии кремового цвета неправильной формы d= 0.5 см	Gr+ палочки, короткие изогнутые длина 1,42 мкм	–	+	+	+	p. <i>Clavibacter</i> / сорт Импала
YDC	Колонии белого цвета круглые d= 0.1 см	Gr– палочки одиночные, длина 2,84 мкм, ширина 1,42 мкм.	+	+	–	+	p. <i>Pseudomonas</i> / сорт Импала
TZCA	Колонии бежевого цвета неправильной формы d= 0.4 см	Gr+ палочки со спорами, длина 2,84 мкм, ширина 1,42 мкм.	+	+	+	+	p. <i>Bacillus</i> / сорта Гала и Импала

Примечание: «+» положительная реакция у микроорганизмов, «–» отрицательная реакция у микроорганизмов

длина 2,84 мкм, ширина 1,42 мкм; по физиолого-биохимическим свойствам: Gr+, подвижные и каталазоположительные бактерии, фитопатогены (способны мацерировать растительную ткань картофеля).

Второй штамм по морфологическим свойствам — колонии бежевого цвета, круглые слизистые  $d=0,1$  см; по культуральным свойствам: Gr– палочки расположены одиночно, длина 1,42 мкм, ширина 1,2 мкм; по физиолого-биохимическим свойствам: Gr–, подвижные и каталазоположительные бактерии, фитопатогены (способны мацерировать растительную ткань картофеля).

По совокупности культуральных, морфологических и физиолого-биохимических свойств выделенные изоляты можно предположительно отнести по определителю бактерий Берджи (1997): 1-й изолят — группа 18, тип *Firmicutes*, род *Bacillus*, 2-й изолят — 4 группа, тип *Gracilicutes*, род *Agrobacterium*.

Род *Bacillus* представлен грамположительными палочковидными бактериями, способными образовывать внутриклеточные споры. Эти микроорганизмы являются либо аэробами, либо факультативными анаэробами. Большинство видов *Bacillus* являются хемоорганотрофами и могут развиваться на простых питательных средах. Они обычно подвижны и имеют жгутики, расположенные вокруг клетки. На твердых средах они формируют колонии с шероховатой структурой и неровными краями, обозначаемые как R-колонии. Оптимальная температура для их роста составляет от 30 до 37°C [7]. Отмечен рост колоний на питательной среде YMA у сортов картофеля Импала и Гала.

Род *Agrobacterium* представлен группой грамотрицательных аэробных палочек. Эти бактерии обычно располагаются поодиночке или парами и имеют размеры от 0,6 до 1,0 микрон в ширину и от 1,5 до 3,0 микрон в длину. *Agrobacterium* не образуют споры, но могут передвигаться благодаря перитрихальным жгутикам. Они каталазоположительные и, как правило, оксидазо- и уреазоположительные. На агаризованных питательных средах *Agrobacterium* образуют выпуклые, круглые, гладкие колонии непигментированного или слабо-бежевого цвета. Многие виды *Agrobacterium* являются фитопатогенными и вызывают бактериальные заболевания различных двудольных и голосеменных растений. Они проникают через поврежденные покровные ткани верхушек, корней и стеблей, приводя к превращению клеток растений в опухоли. Болезни, вызываемые этими штаммами, известны как бактериальный корончатый галл, корень волосистой, рак стеблей бактериальный. [7]. Отмечен рост колоний на питательной среде YMA у сортов картофеля Импала и Гала.

На питательной среде Кинг В выделены 2 бактериальных штамма. Первый штамм по морфологическим

свойствам имеет следующие признаки: колонии желтого цвета выпуклые  $d=0,2$  см; Gr– палочки, длина 1,42 мкм, ширина 1,1 мкм; по физиолого-биохимическим свойствам — Gr–, подвижные и каталазоположительные бактерии, фитопатогены (способны мацерировать растительную ткань картофеля). Второй бактериальный штамм по морфологическим свойствам — колонии кремового цвета неправильной формы  $d=0,5$  см; по культуральным свойствам — Gr+ палочки, короткие изогнутые длина 1,42 мкм; по физиолого-биохимическим свойствам: Gr+, не подвижные и каталазоположительные бактерии, фитопатогены (способны мацерировать растительную ткань картофеля).

Выделенные на среде Кинг В изоляты бактерий по совокупности культурально-морфологических и физиолого-биохимических свойств, согласно Определителю бактерий Берджи (1997), можно отнести: 1-й изолят — неспорообразующие грамположительные палочки неправильной формы (группа 20), тип *Firmicutes*, предположительно род *Clavibacter*; 2-й изолят — грамотрицательные палочки — 4 группа, тип *Gracilicutes*, предположительно род *Erwinia*.

Род *Clavibacter* относится к коринеформным бактериям и представляет собой группу грамположительных неспорообразующих палочковидных бактерий необычной формы. Представители этого рода представлены прямыми или слегка изогнутыми тонкими палочками неопределенной формы, часто имеющими клиновидную или булавовидную форму. Они обычно располагаются индивидуально или парами в форме буквы V. Иногда в старых культурах можно обнаружить кокковидные клетки, хотя цикл палочек и коков не характерен для бактерий рода *Clavibacter*. Виды этого рода каталазоположительные, не образуют индол, не восстанавливают нитраты. Оптимальная температура для их роста составляет от 20 до 29 градусов Цельсия, и они редко развиваются при температурах выше 35 градусов Цельсия. Их рост медленный, и для успешного развития им требуются питательные среды. Некоторые штаммы способны синтезировать голубой и желтый пигменты. Род *Clavibacter* объединяет различные виды бактерий, которые являются облигатными паразитами и вызывают бактериозы у различных цветущих растений. В основном бактерии рода *Clavibacter* являются хемоорганотрофами, но встречаются также хемолитоавтотрофы. Их метаболизм является строго дыхательным, оксидазная реакция у них положительная. Некоторые виды этого рода способны к денитрификации. [7]. Отмечен рост на среде Кинг В только у сорта картофеля Импала.

Род *Erwinia* относится к семейству *Enterobacteriaceae* и включает в себя паразитические, сапрофитные и эпифитные виды бактерий, которые обитают на растениях. В этом роде насчитывается 17 видов. Бактерии рода

*Erwinia* представляют собой грамотрицательные палочки, которые могут быть обнаружены в одиночном виде, парами или в коротких цепочках. Они обладают подвижностью благодаря перитрихальным жгутикам, за исключением *Erwinia stewartii*. Оптимальная температура для роста бактерий рода *Erwinia* составляет от 27°C до 30°C. Эти фитопатогенные бактерии могут вызывать различные заболевания растений, такие как некрозы, ожоги, увядание, а также формирование «мокрых» или «мягких» гнилей. Последние заболевания связаны с поражением паренхимы, сосудов или гиперплазией растений. [7]. Выявлен рост на питательной среде Кинг В только у сорта картофеля Гала.

На питательной среде YDC выделен один штамм, по морфологическим свойствам имеет следующие признаки: колонии белого цвета круглые  $d=0,1$  см; по культуральным свойствам — Гр– палочки одиночные, длина 2,84 мкм, ширина 1,42 мкм; по физиолого-биохимическим свойствам — Гр–, подвижные и каталазоположительные бактерии, фитопатогены (способны мацерировать растительную ткань картофеля).

По совокупности культурально-морфологических и физиолого-биохимических свойств выделенный изолят на среде YDC можно отнести к 4 группе, тип *Gracilicutes*, предположительно, род *Pseudomonas*.

Представители рода *Pseudomonas* представляют собой грамотрицательные подвижные бактерии. Размеры их клеток составляют 0,5–1х1,5–4 мкм. Они могут иметь полярное, амфитрихальное или лофотрихальное жгутование. Бактерии рода *Pseudomonas* являются как сапрофитами, так и патогенами. Фитопатогенные виды этого рода вызывают гнили, раки, ожоги и другие заболевания сельскохозяйственных культур. Оптимальная температура для их роста составляет 30–37 °C. [7]. На питательной среде YDC отмечено наличие круглых колоний белого цвета только для клубней картофеля сорта Импала.

На питательной среде TZCA выделен один бактериальный штамм, по морфологическим свойствам имеет следующие признаки: колонии бежевого цвета неправильной формы  $d=0,4$  см; по культуральным свойствам — Гр+ палочки со спорами, длина 2,84 мкм, ширина 1,42 мкм; по физиолого-биохимическим свойствам — Гр+, подвижные и каталазоположительные бактерии, фитопатогены (способны мацерировать растительную ткань картофеля).

На питательной среде TZCA выделенный изолят бактерий по совокупности культурально-морфологических и физиолого-биохимических свойствам, согласно Определителю бактерий Берджи (1997), можно отнести к грамположительным спорообразующим палочкам (группа 18; предположительно относящиеся к р. *Bacillus*). Отмечен рост колоний на среде TZCA бежевого цвета неправильной формы у сортов картофеля Гала и Импала.

Таким образом, выделенные бактериальные колонии, относящиеся к роду *Bacillus*, изолированные на средах TZCA и YMA, отмечены у сортов картофеля Импала и Гала. При сравнении культуральных свойств бактериальных колоний отмечается сходство — колонии имеют неправильную форму, бежевый цвет [7]. Отличие на среде YMA — колонии имели слизистую консистенцию.

Первичный скрининг наличия фитопатогенных свойств проводили по способности выделенных изолятов мацерировать растительную ткань корнеплодов (свекла, морковь, картофель) [5]. На 3-и сутки инкубации визуально на дисках выявлен рост бактериальных культур (наличие слизи на корнеплодах), растительная ткань стала более размягченной, что предполагает разрушение ткани корнеплодов. Это позволяет предположить способность изолятов выделять внеклеточные деполярирующие ферменты (пектолитические, целлюлолитические, протеолитические и др.), играющие важную роль в качестве фактора вирулентности [1], что позволяет предположить у выделенных бактериальных изолятов наличие фитопатогенных свойств.

### Заключение

В результате данной работы из клубней семенного картофеля сортов Импала и Гала выделено 9 штаммов бактериальных изолятов. Из клубней картофеля сорта Импала выделены 5 штаммов, предположительно идентифицированы как представители родов *Agrobacterium*, *Clavibacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*. Из клубней картофеля сорта Гала выделены 4 штамма, предварительно идентифицированные как представители родов *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Erwinia*. Данные штаммы бактерий на основании результатов по способности мацерации тканей корнеплодов (моркови, свеклы, картофеля) можно отнести к фитопатогенам. В связи с этим, данные изоляты бактерий можно применять как объекты для исследований по разработке мер и стратегий по борьбе с заболеваниями сельскохозяйственных культур.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агабозорги С., Евтушенко А.Н. Мацерация тканей картофеля и корнеплодов моркови мутантами бактерий *Erwinia atroseptica* — // Вестник БГУ, 2008. — №2. — 62 с.
2. Ахатов А.К., Ганнибал Ф.Б., Мешков Ю.И., Джалилов Ф.С., Чижов В.Н., Игнатов А.Н., Полищук В.П., Шевченко Т.П., Борисов Б.А., Стройков Ю.М., Белошапкина О.О. Болезни и вредители овощных культур и картофеля. М: Товарищество научных изданий КМК, 2013. — 463 с.
3. Главный сайт для агрономов России ООО «ГлавАграрРус» Текст: электронный // ТОП грибных и бактериальных болезней картофеля: официальный сайт. — 2024. — URL: <https://glavagronom.ru/articles/ТОП-gribnyh-i-bakterialnyh-boleznej-kartofelya> (дата обращения: 18.04.2024).
4. Жевора С.В. Передовые методы диагностики патогенов картофеля: науч. анал. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. — 96 с.
5. Желдакова Р.А. Фитопатогенные микроорганизмы: Учебно-метод. комплекс для студентов биол. фак. спец. Г — 31 01 01 «Биология». — Минск: БГУ, 2006. — 89 с.
6. Определитель бактерий Берджи [Текст]. В 2-х т. — Т. 2 / под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. — М.: Мир, 1997.
7. Сельскохозяйственный онлайн справочник «Пестициды.ru». — Текст: электронный // интернет-магазин: официальный сайт. — 2024. — URL: [https://www.pesticide.ru/infopages/conditions\\_use#item\\_content\\_h4\\_2](https://www.pesticide.ru/infopages/conditions_use#item_content_h4_2) (дата обращения: 25.03.2024).

© Сопрунова Ольга Борисовна (soprunova@mail.ru); Чернухина Олеся Сергеевна (olesya.melnikova.92@bk.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СЛЕДЫ УКУСОВ НА ПОЗВОНКЕ LEVNESOVIA TRANSOXIANA (HADROSAUROIDEA), КАК СВИДЕТЕЛЬСТВО ПАДАЛЕЯДНОГО ПОВЕДЕНИЯ TIMURLENGIA EUOTICA (TYRANNOSAUROIDEA)

**Чудакова Софья Егоровна**

Исследователь лаборатории,  
«ЭФА» Эколого-биологический центр  
schudakova@rambler.ru

## BITE MARKS ON THE VERTEBRA OF LEVNESOVIA TRANSOXIANA (HADROSAUROIDEA), AS EVIDENCE OF THE CARRION-EATING BEHAVIOR OF TIMURLENGIA EUOTICA (TYRANNOSAUROIDEA)

**S. Chudakova**

*Summary.* A comprehensive and in-depth study of the remains of organisms of the geological past includes the study of the relationship of extinct organisms among themselves and with their habitat, is of paramount importance for the theory of biology since the problem of the evolution of the organic world and the origin of adaptations require a deep understanding of the processes of formation under the influence of external and internal factors.

Bites (traces of food) on the bones of prehistoric animals left by predators or scavengers have been repeatedly noted and studied by paleontologists. Here I describe the nutrition traces belonging to *Timurlengia euotica* on the dorsal vertebra of *Levnesovia transoxiana* (DIN 20/11). The size and morphological characteristics of bite marks, as well as the distance between them, were compared with the distances between teeth in the reconstruction of the upper jaw (ZIN PH 676/16) and with the sizes of isolated teeth of *Timurlengia euotica*. These comparisons show good correspondence and ratios.

*Keywords:* *Levnesovia transoxiana*, *Timurlengia euotica*, *Hadrosauroida*, *hadrosauroids*, *Tyrannosauroida*, *tyrannosauroids*, bite marks on dinosaur bones, dinosaur nutrition, scavenger dinosaurs, dinosaurs from the Turonian deposits of the Bissekta formation of the Dzharakuduk tract, dinosaurs of the Republic of Uzbekistan.

*Аннотация.* Разностороннее и глубокое изучение остатков организмов геологического прошлого включает изучение взаимоотношений вымерших организмов между собой и со средой их обитания, имеет первостепенное значение для теории биологии, так как проблема эволюции органического мира и вопросы происхождения адаптаций (приспособлений) требуют глубокого понимания процессов формообразования, идущих под влиянием внешних и внутренних факторов.

Укусы (следы питания) на костях доисторических животных, оставленные хищниками или падальщиками, неоднократно отмечались и изучались палеонтологами.

Здесь я описываю следы питания, принадлежащие *Timurlengia euotica* на дорсальном позвонке *Levnesovia transoxiana* (DIN 20/11). Размеры и морфологические характеристики следов укусов, а также расстояние между ними сравнивались с расстояниями между зубами на реконструкции верхней челюсти (ZIN PH 676/16) и с размерами изолированных зубов *Timurlengia euotica*. Эти сравнения показывают хорошее соответствие и соотношения.

*Ключевые слова:* *Levnesovia transoxiana*, левнесовия, *Timurlengia euotica*, тимурленгия, *Hadrosauroida*, гадрозавроиды, *Tyrannosauroida*, тираннозавроиды, следы укусов на костях динозавров, питание динозавров, динозавры падальщики, динозавры из туронских отложений Биссектинской свиты урочища Джаракудук, динозавры Республики Узбекистан.

### Введение

**В** динозавровых фаунах обнаруженные следы укусов являются важными компонентами, характеризующими палеоэкологические взаимодействия в различных кладах. Сюда относятся свидетельства о каннибализме и поедании падали [Drumheller S.K. et al., 2020], внутривидовых [Hone D.W.E. et al., 2015] и межвидовых боях [Harr J., 2008], предпочтения в выборе добычи [Jacobsen A.R., 1998] и попытки хищничества [De Palma R.A. et al., 2013]. Анализ множества следов укусов, оставленных на костях динозавров, позволяет сделать выводы, что большинство подобных отметин были оставлены зубами теропод [Robinson R.F. et al., 2015] и крокодиломор-

фов [Noto C.R. et al., 2012], а также в некоторых случаях зубами акул [Everhart M.J. et al., 2006] и млекопитающих [Augustin F.J. et al., 2020]. Однако следы пищевого поведения теропод редки по сравнению с фаунами кайнозоя, в которых доминировали млекопитающие и в динозавровых фаунах без крупных теропод — тираннозаврид [Fiorillo A.R., 1991].

Следы зубов Theropoda, на кажущуюся очевидность, на сегодняшний день изучены недостаточно, подробно описаны только несколько экземпляров [Jacobsen A.R., 1998] и проведено только два систематических исследования [Drumheller S.K. et al., 2020]. Из немногих подробных описаний следов зубов теропод многие принадле-

жат тираннозаврам [De Palma R.A. et al., 2013], которые оставляют следы чаще, чем другие Theropoda, так что это, пожалуй, наиболее изученная клада с точки зрения особенностей питания и экологии.

Следы зубов тираннозавроидов являются наиболее часто сохраняющимися следами питания плотоядных динозавров. Также нет абсолютных данных, свидетельствующих в пользу активного хищничества или падалеедства тираннозавроидов. Д. Хорнер считает, что тираннозавр был исключительно падалыщиком и вообще не занимался активной охотой [Horner J.R., 199]. Другие исследования свидетельствуют, что он был активным охотником [Fowler D.W. et al., 2006].

Тираннозавроиды использовали зубы для отрывания мяса от туши, а не отрезали его подобно ножу, при этом часто вгрызались в кость, о чем свидетельствуют сколы зубов [Schubert B.W. et al., 2005], сильный износ вершин зубов и килей [Farlow J.O. et al., 1994] и наличие следов костей в копролите у тираннозавра [Chin K. et al., 1998]. Характер износа зубов указывает на то, что представители этого семейства при отрывании мяса сильно трясли головой [Ablner W.L., 2001].

Следы зубов теропод принимают разную форму в зависимости от поведения кусающего животного. Например, удлиненные следы остаются после вытягивания зубов, тогда как разрушение поверхности кости указывает на особенно сильные укусы [D'Amore D.C. et al., 2009]. В некоторых случаях по следам укусов можно получить информацию о размере хищника, который можно предсказать по параллельным следам, оставленным одним укусом. Здесь разделяющее их расстояние, должно отражать расстояние между зубами [Brown C.M. et al., 2021], хотя некоторые факторы, такие как искривленные поверхности костей, угол прикуса, а также отсутствие или неправильное расположение зубов [Hone D.W.E. et al., 2018], могут исказить результаты и затруднить правильное определение.

Следы питания динозавров-теропод дают палеобиологические и палеоэкологические характеристики социальных и трофических взаимодействий и являются прямыми доказательствами падалеедного или хищнического поведения. Хотя следы укусов, возникшие в результате активного хищничества, нелегко отличить от следов посмертного кормления, в этом может оказать огромную помощь выяснение таксономического происхождения животных, их онтогенетические стадии, а также сведения региональной биоистратиграфии. Следы питания позволяют лучше понять роль теропод в меловых экосистемах.

Здесь я сообщаю о наличии следов питания на дорсальном позвонке *Levnesovia transoxiana* (DIN 20/11).

Судя по форме, расположению и направлению следов, а также известной фауне Биссектинской свиты урочища Джаракудук (Республика Узбекистан), можно с достаточной долей уверенности, предположить, что они являются следами питания и свидетельствами падалеедного поведения крупного теропода из клады *Tyrannosauoidea*, такого как *Timurlengia euotica*. Сравнивая морфологические характеристики следов укусов, размеры и расстояние между ними с расстояниями между зубами на реконструкции верхней челюсти (ZIN PH 676/16) и с размерами изолированных зубов *Timurlengia euotica*, я полностью их соотношу.

### Геологическая обстановка

Экземпляр DIN 20/11 — дорсальный позвонок *Levnesovia transoxiana* (*Hadrosauoidea*), собранный из туронских отложений Биссектинской свиты урочища Джаракудук (пустыня Кызылкум, Республика Узбекистан), в ходе экспедиции Зоологического института РАН под руководством профессора РАН Аверьянова А.О. Данный экземпляр хранится в палеонтологической коллекции кафедры «Зоологии позвоночных» Санкт-Петербургского государственного университета.

Место сбора представляет собой совокупность карбонатов общей площадью 30 км<sup>2</sup>, сложенных терригенными обломочными горными породами периода позднего мела, которые отложились в условиях древнего морского побережья, лиманов и дельты впадающей в море реки.

### Материалы и методы

Исследуемый материал (DIN 20/11) представляет собой одиночный изолированный частично сохранившийся позвонок *Levnesovia transoxiana* из надсемейства *Hadrosauoidea*, размерами 10 x 6 x 5,5 см. Позвонок состоит из полностью сохранившегося тела позвонка, дуги позвонка, ножек дуги, частично сохранившегося основания остистого отростка, основания правого поперечного отростка, основания правого переднего суставного отростка. Остальные морфологические элементы позвонка утрачены и в большей степени сглажены эрозией. Позвоночное отверстие полностью заполнено осадочной породой. Данный позвонок является дорсальным, о чем свидетельствует общая морфология и направление оси отломка остистого отростка и отсутствие суставных поверхностей для сочленения с шевронами, как у каудальных. На левой латеральной поверхности тела позвонка имеются следы биоэрозии, относящиеся к трофическим взаимодействиям (следы укусов).

На исследуемом экземпляре на левой латеральной поверхности тела дорсального позвонка *Levnesovia transoxiana* можно видеть пять следов от укусов, кото-

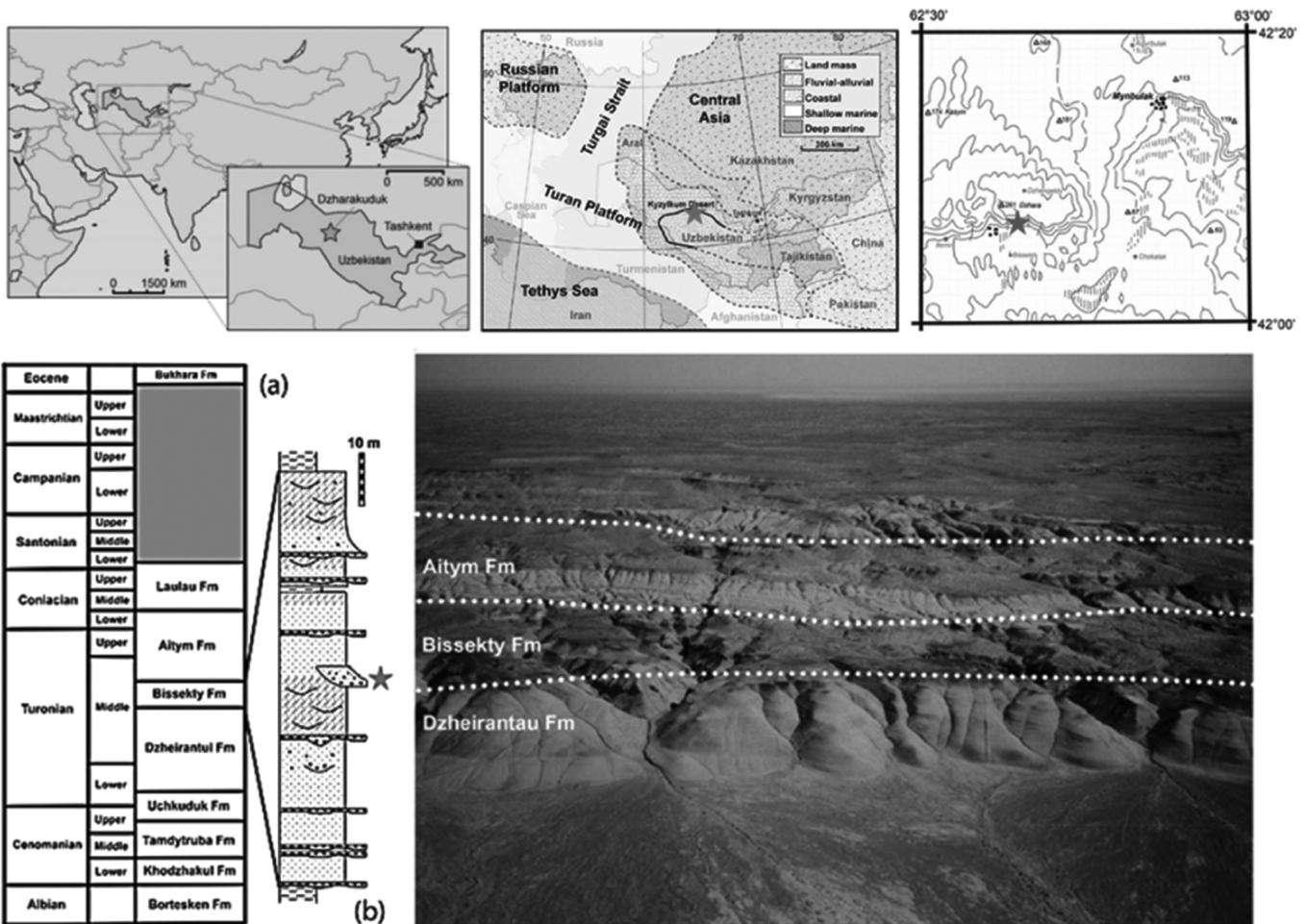


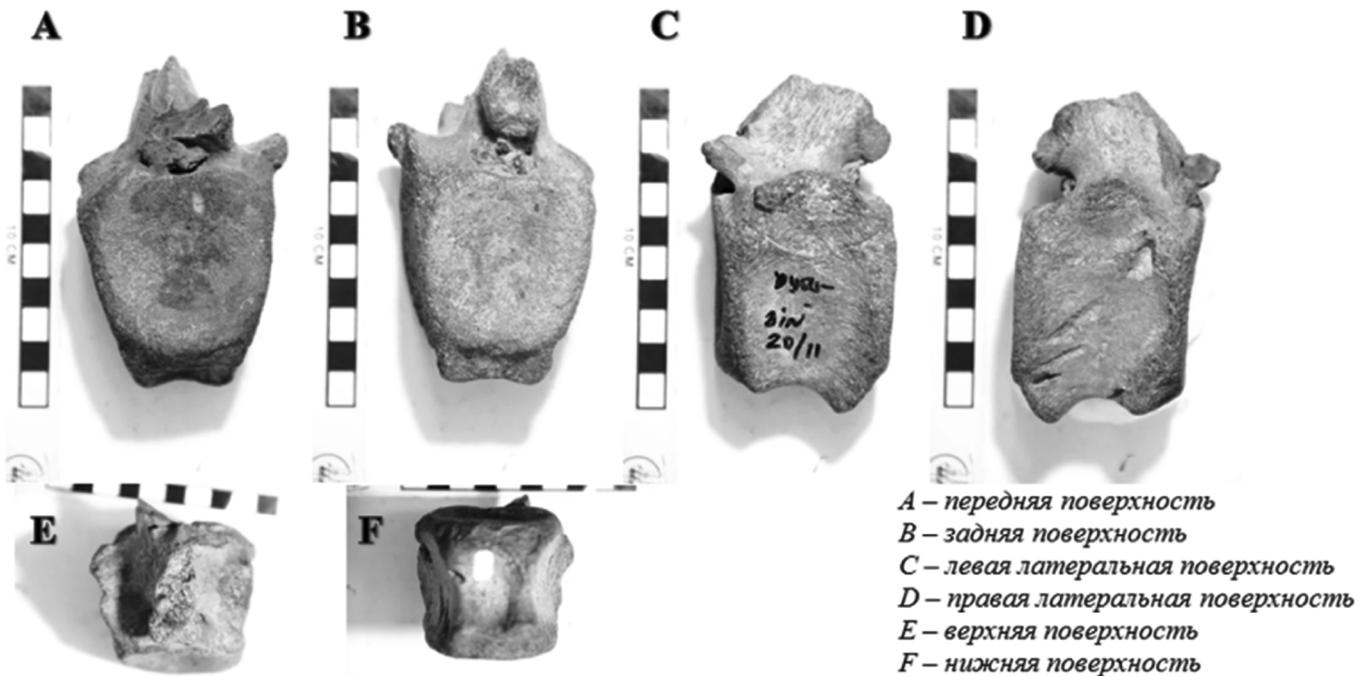
Рис. 1. Расположение урочища Джаракудук (звездочка) в центральной части пустыни Кызылкум в Узбекистане, с обобщенным представлением позднемеловых литофаций (пунктирная линия), предположительно связанных с условиями осадконакопления и указанием границы Биссектинской формации (сплошная линия) во время турона. Вид обнажений меловых отложений вдоль откоса Джаракудук с примерными границами между Биссектинской свитой и прилегающими толщами (вид на север, фотография профессора РАН Аверьянова А.О.).

рые можно разделить на две группы, обозначенные на изображении ниже: 1) следы проколов, в виде полукруглых (яйцевидных) ямок, проникающих на глубину до 7 мм, разрушающих кортикальный слой кости внутри углубления, имеющих вентродорсальное направление, и не имеющих признаков заживления, размерами 15 x 8 x 7 мм (А), 10 x 3 x 5 мм (D), 8 x 5 x 3 мм (E); 2) следы, в виде удлиненных с зубчатыми краями борозд V-образного сечения, местами частично проникающие через поверхность кортикального слоя кости, с максимальной глубиной до 4 мм, также вентродорсального направления, и не имеющих признаков заживления, размерами 20 x 5 x 2 мм (B), 10 x 3 x 4 мм (C). Большие размеры и формы проколов на позвонке, а также склонность оставившего их животного к костегрызению, позволяют уверенно предположить, что они были оставлены зубами теропода крупного или среднего размера, относящегося к кладе *Tyrannosauroidea*. К таким плотоядным хищникам (падальщикам) из Биссектинской формации относится — *Timurlengia euotica*.

Чтобы достоверно убедиться в принадлежности следов от укусов именно тимурленгии и лучше визуализировать морфологию и размеры оставивших их зубов, самый отчетливый прокол на позвонке *Levnesovia transoxiana* (обозначен на предыдущем изображении буквой «А») был заполнен полимерным материалом для изготовления слепков. Затем этот слепок был сравнен с зубами, принадлежащими *Timurlengia euotica*.

Измерения слепка зуба при обнаруженной глубине в 7 мм составили: мезиодистальная ширина — 6 мм, а лабио-лингвальная длина — 11 мм.

Измерения апикальной части на расстоянии 7 мм от вершины коронки зуба на имеющихся в распоряжении экземплярах зубов *Timurlengia euotica* составили: средняя мезиодистальная ширина — 6 мм, средняя лабио-лингвальная длина — 12 мм, что демонстрирует хорошее соответствие результатам, полученным со слепка зуба.



A – передняя поверхность  
 B – задняя поверхность  
 C – левая латеральная поверхность  
 D – правая латеральная поверхность  
 E – верхняя поверхность  
 F – нижняя поверхность

Рис. 2. Дорсальный позвонок *Levnosovia transoxiana* (Hadrosauoidea) (DIN 20/11)

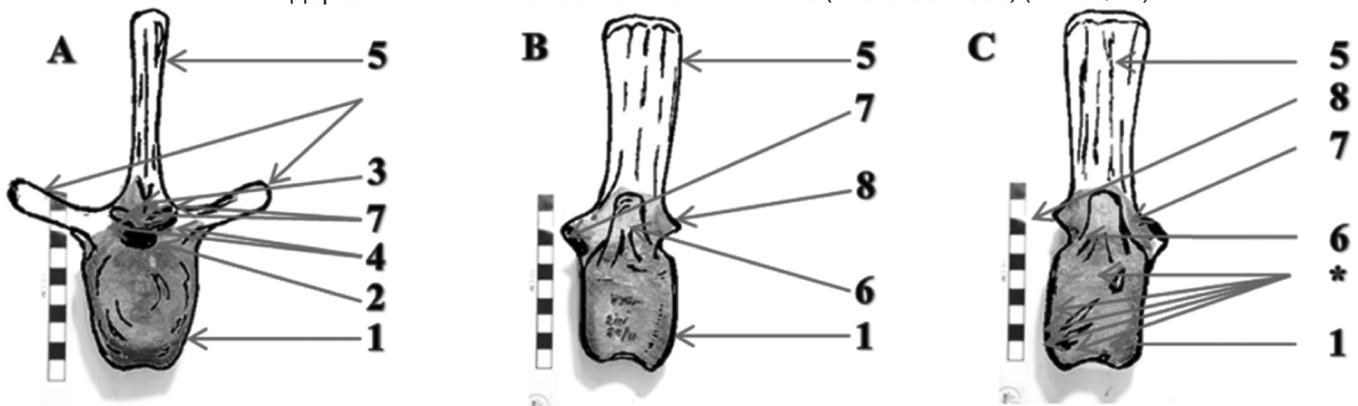


Рис. 3. Дорсальный позвонок *Hadrosauoidea* (DIN 20/11) со схематически прорисованными утраченными морфологическими элементами (A — передняя поверхность, B — левая латеральная поверхность, C — правая латеральная поверхность, \* — следы биоэрозии (следы укусов), 1 — corpus vertebrae, 2 — foramen vertebrale, 3 — arcus vertebrae, 4 — pediculli arcus vertebrae, 5 — processus spinosus, 6 — processus transversus, 7 — processus articularis cranialis, 8 — processus articularis caudalis)

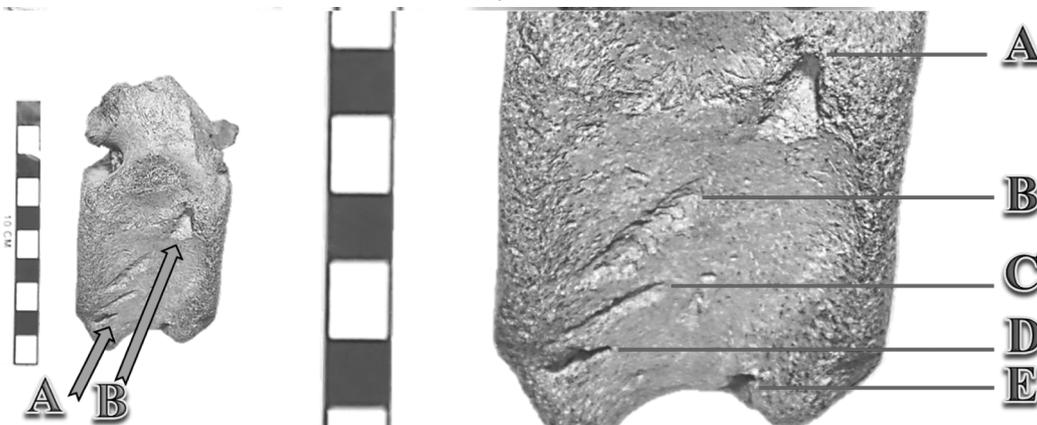
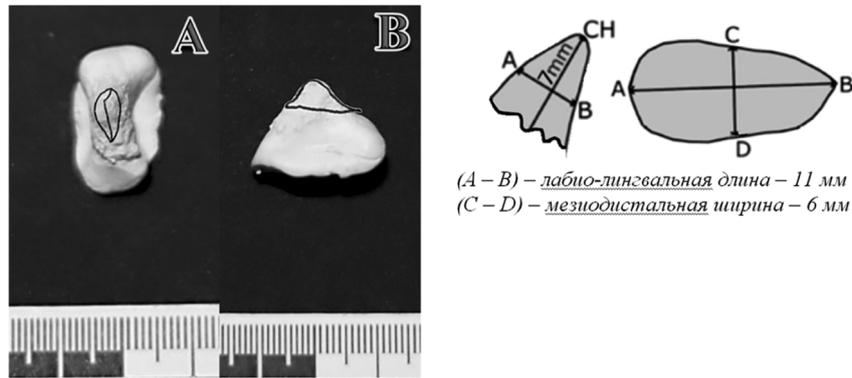
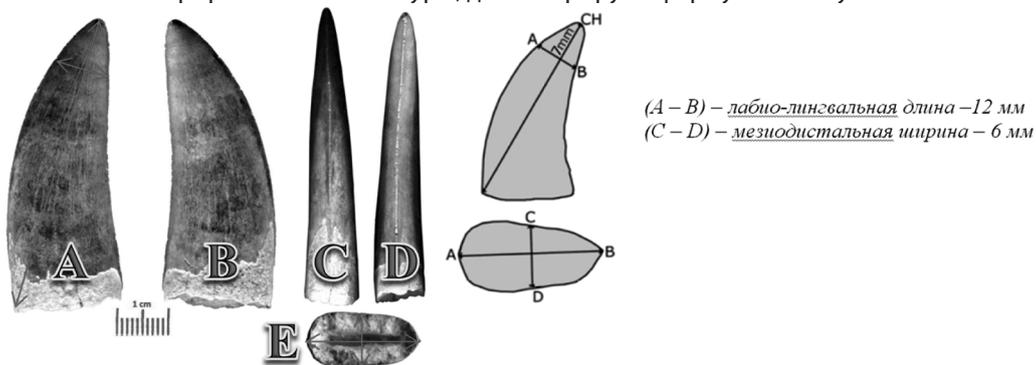


Рис. 4. Группы следов от укусов на левой латеральной поверхности тела дорсального позвонка *Levnosovia transoxiana* (DIN 20/11) (обозначены буквами на правом рисунке). Вентродорсальное направление следов от укуса (обозначены буквами и стрелками на левом рисунке)



(A – B) – лабио-лингвальная длина – 11 мм  
(C – D) – мезиодистальная ширина – 6 мм

Рис. 5. Слепок зуба, изготовленный из следа от укуса на левой латеральной поверхности тела дорсального позвонка *Levnesovia transoxiana* (DIN 20/11). (A) — вертикальная, (B) — боковая проекции. Прорисованные контуры, демонстрируют форму слепка зуба



(A – B) – лабио-лингвальная длина – 12 мм  
(C – D) – мезиодистальная ширина – 6 мм

Рис. 6. Зуб *Timurlengia euotica*: A — левая латеральная поверхность, B — правая латеральная поверхность, C — передняя поверхность, D — задняя поверхность, E — горизонтальное сечение

Ввиду того, что анатомический материал челюстного аппарата *Timurlengia euotica* представлен очень скудно, в основу реконструктивного исследования, исходя из схожести строения челюстей во всей кладе *Tyrannosauroidea*, положены сведения о смене и росте зубов у *Tyrannosaurus rex*, аналогично исследованию о вероятных следах укусов *Basilosaurus* на экземплярах меньшего кита *Dorudon* [Fahlke J.M., 2012], а также исследованию о следах питания, относящиеся к ювенильной особи *Tyrannosaurus rex* [Peterson J.E. et al., 2019].

Цифровые модели челюстного аппарата представителя клады *Tyrannosauroidea* и позвонка представителя клады *Hadrosauroidea*, полученные с помощью Next Engine Scan Studio HD Pro версии 2.02, были приведены к одному масштабу с фрагментами верхней и нижней челюсти *Timurlengia euotica* и с дорсальным позвонком *Levnesovia transoxiana*. Это позволило сделать интерактивную реконструкцию и пространственное манипулирование изучаемыми объектами, в процессе которой были измерены расстояния между зубами верхней челюсти *Timurlengia euotica*, как непосредственно прилегающих зубов, так и зубов из чередующихся положений замены и сравнены с расстояниями между проколами и бороздами на исследуемом экземпляре позвонка *Levnesovia transoxiana*.

Измерения, проведенные на цифровой модели верхней челюсти *Timurlengia euotica*, хорошо укладываются в показатели, полученные на экземпляре позвонка *Levnesovia transoxiana*. Расстояния между, обозначенными на приведенных изображениях, коронками зубов верхней челюсти тимурленгии хорошо соотносятся и близко соответствуют расстояниям между проколами и бороздами от следов укусов на дорсальном позвонке левнесовии.

### Обсуждение и выводы

Находки следов укусов являются очень важным компонентом в палеобиологических исследованиях, так как могут предоставить важную информацию о древних экосистемах и служить индикаторами трофических взаимодействий между животными и их месте в пищевой цепи. Также они могут служить лучшим свидетельством предпочтений в питании, особенно потому, что копролиты, содержимое желудка или другие прямые свидетельства встречаются очень редко [Bell P.R. et al., 2010].

Следы укусов при благоприятных обстоятельствах могут иметь диагностические признаки, определяющие таксономическое положение хищника, позволяют понять его методы охоты и пищевые привычки, а также

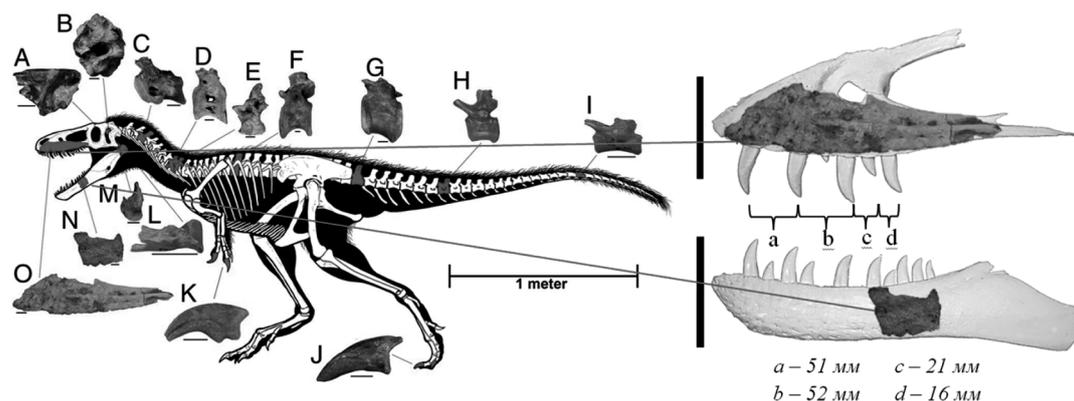


Рис. 7. Реконструкция верхней (ZIN PH 676/16) и нижней челюстей (ZIN PH 15/16) *Timurlengia euotica* для визуализации положения зубов, используемого для измерений. На цифровом изображении наглядно представлена попеременная смену зубов. Масштабные линейки равны 10 см

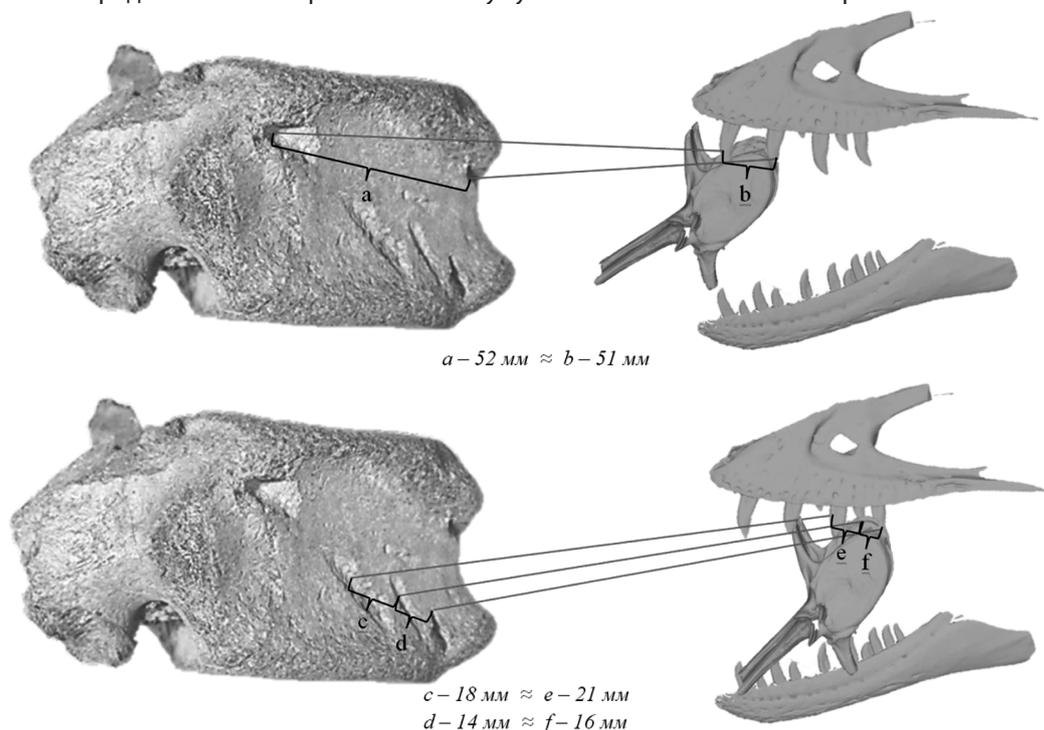


Рис. 8. Интерактивная цифровая реконструкция и пространственное манипулирование моделью варианта возможного трофического межвидового взаимодействия, при котором могли появиться следы от укусов *Timurlengia euotica* на исследуемом позвонке *Levnosovia transoxiana*

служат прямым свидетельством трофических взаимодействий и конкуренции в палеобиоценозах. Однако идентификация обеих сторон, связанных со следами укусов, часто затруднена, что ограничивает получение биологически значимой информации. Укушенные экземпляры часто фрагментарны, а поскольку следы укусов обычно встречаются на изолированных элементах, то они часто не являются диагностическими для рода или вида. Хотя следы питания и следы укусов, приписываемые тираннозавроидам, хорошо документированы у обычных позднемеловых таксонов, таких как гадрозавроиды и цератопсы, все же укусы, оставленные зубами других теропод (*Dromaeosauridae*, *Troodontidae*) не всег-

да, можно однозначно отличить от зубов ювенильных *Tyrannosauroidae*.

Следы, оставленные зубами представителей семейства *Dromaeosauridae*, встречается крайне редко, что позволяет предположить, что контакт их зубов с костями добычи был случайным (Hone D.W.E. et al., 2010), а зубной ряд большинства таксонов из-за твердости костной ткани неприспособлен оставлять такие следы. Зубы дромеозаврид практически не изнашивались [Longrich N.R., 2008], что показывает, что они избегали прокусывания костей и, возможно, их пищевому поведению было в определенной степени не свойственно костегрызение.

Исследование характера стирания зубов у троодонтид, дает возможность предположить, что они охотились на животных с мягким телом и в качестве добычи предпочитали беспозвоночных и падаль, которые либо были неподвижны, либо могли быть проглочены целиком [Torices A. et al., 2018].

Исследования силы укуса кархародонтозавра, а также акрокантозавра и тираннозавра показали, что у кархародонтозавров сила укуса была намного ниже, чем у тираннозавров несмотря на то, что они относились к тому же размерному классу. У *Tyrannosaurus rex* сила переднего укуса оценивается в 25 418 ньютонов, а сила заднего укуса — 48 505 ньютонов, тогда как сила переднего укуса *Carcharodontosaurus saharicus* оценивается в 11 312 ньютонов, а сила заднего укуса — 25 449 ньютонов. Это намного ниже, чем у тираннозавра, что означает, что он не придерживался диеты остеофага [Sakamoto M., 2022]. Также были проведены расчеты черепов теропод методом конечных элементов, что еще раз подтвердило идею о том, что кархародонтозавр ел более мягкую пищу, чем тираннозавриды. Большое напряжение было восстановлено в задней части черепа возле квадратной кости у кархародонтозавра, спинозавра и акрокантозавра. Черепа этих теропод имели более высокие относительные напряжения по сравнению с черепами более мелких родов. Это свидетельствует о том, что черепа гигантских таксонов имели наличие больших пневматических структур для экономии веса, а не для создания прочной конструкции.

Следы зубов хищных теропод, на кажущуюся очевидность, на сегодняшний день изучены недостаточно, подробно описаны только несколько экземпляров [Jacobsen A.R., 1998] и проведено только два систематических исследования [Drumheller S.K. et al., 2020]. Напротив, единственное заметное исключение составляют представители клады *Tyrannosauoidea*, многочисленные следы от укусов которых известны из формаций, где они являлись доминирующими плотоядными [Fiorillo A.R., 1991].

Следы зубов, которые, как полагают, были оставлены тираннозавроидами, состоят из V-образных борозд и потертостей (субпараллельных и изолированных), а также отчетливых следов от проколов и вытягивания (тонкие параллельные царапины, возникающие в результате соскабливания зубами) [Robinson R.F. et al., 2016].

Анализируя результаты исследования, я прихожу к выводам, что следы укусов на дорсальном позвонке *Levnesovia transoxiana*, скорее всего, представляют

собой вариант падалядного поведения *Timurlengia euotica*, а не следы атаки хищника и последующего поедания жертвы. Так на следах укусов нет признаков заживления, что подтверждает, что они были причинены уже после смерти левнесовии. А их вентродорсальное направление в сагиттальной плоскости, то есть со стороны живота, доказывает невозможность их получения при борьбе одного животного с другим. Когда тимурленгия приступил к кормлению, туша левнесовии лежала на левом боку, так как следы укусов находятся на правой латеральной поверхности позвонка и нанесены зубами верхней челюсти по направлению сверху вниз. Тот факт, что следы укусов находятся на месте, где анатомически не располагается большое количество мышц, а доступ к нему со стороны брюшной полости или грудной клетки предполагает поедание внутренних органов туши, дает возможность сделать выводы о том, что питающийся тимурленгия был падальщиком, который появился после того, как у мертвой левнесовии уже была съедена большая часть мягких тканей. Так, наблюдения за пищевым поведением хищных млекопитающих [Carson E.A. et al., 2000] и птиц [Behrensmeyer A.K. et al., 2003] показывают, что в большинстве случаев поедание осевого скелета происходит после того, как были съедены конечности и внутренности. Следы, оставленные зубами тимурленгии, представляют собой два укуса, первый из которых — это серия из двух проколов, определяемая как пробный силовой укус, второй — это серия из борозд и прокола, определяемая как перехват добычи и сильное трясение головой при отрывании куска добычи. Наличие следов укусов лишь только на одной поверхности позвонка свидетельствует о том, что они оставлены зубами только одной, в данном случае, верхней челюсти, и то, что в момент питания тимурленгии позвонки левнесовии находился в сочленении с другими частями туши, на которые и пришлись действия от зубов нижней челюсти, в данном конкретном случае не доступные для исследования.

#### Благодарности

Я хотела бы выразить благодарность и.о. заведующего кафедрой «Зоология позвоночных» Санкт-Петербургского государственного университета д.б.н. профессору Скучасу П.П. за предоставленный из палеонтологической коллекции кафедры для исследования экземпляр позвонка *Levnesovia transoxiana*, ассистенту кафедры «Зоология позвоночных» Санкт-Петербургского государственного университета Колчанову В.В. за помощь в подготовке экспериментальных моделей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Abler W.L. 2001. A kerf-and-drill model of tyrannosaur tooth serrations. *Mesozoic Vertebrate Life*. Tanke D.H., Carpenter K., Skrepnick M.W. Bloomington: Indiana University Press, pp. 86–89.
2. Augustin F.J., Matzke A.T., Maisch M.W., Hinz J.K., Pfretschner H.-U. 2020. The smallest eating the largest: the oldest mammalian feeding traces on dinosaur bone from the Late Jurassic of the Junggar Basin (northwestern China). *The Science of Nature*, 107: 32.
3. Averianov A.O., Sues H.D. 2012. Skeletal remains of Tyrannosauroida (Dinosauria: Theropoda) from the Bissekty Formation (Upper Cretaceous: Turonian) of Uzbekistan. *Cretaceous Research*. Vol. 34, pp. 284–297.
4. Bell P.R., Currie P.J. 2010. A tyrannosaur jaw bitten by a confamilial: scavenging or fatal agonism? *Lethaia*, 43(2), pp. 278–281.
5. Brown C.M., Tanke D.H., Hone D.W.E. 2021. Rare evidence for «gnawing-like» behavior in a small-bodied theropod dinosaur. *PeerJ* 9: e11557.
6. Brusatte S.L., Averianov A.O., Sues H.D., Muir A., Butler I.B. 2016. New tyrannosaur from the mid-Cretaceous of Uzbekistan clarifies evolution of giant body sizes and advanced senses in tyrant dinosaurs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(13): 201600140.
7. Chin K., Tokaryk T.T., Erickson G.M., Calk L.C. 1998. A king-sized theropod coprolite. *Nature* 393, pp. 680–682.
8. D'Amore D.C., Blumenshine R.J. 2009. Komodo monitor (*Varanus komodoensis*) feeding behavior and dental function reflected through tooth marks on bone surfaces, and the application to ziphodont paleobiology. *Paleobiology*, 35, pp. 525–552.
9. De Palma R.A., Burnham D.A., Martin L.D., Rothschild B.M., Larson P.L. 2013. Physical evidence of predatory behavior in *Tyrannosaurus rex*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(31): pp. 12560–12564.
10. Drumheller S.K., McHugh J.B., Kane M., Riedel A., D'Amore D.C. 2020. High frequencies of theropod bite marks provide evidence for feeding, scavenging, and possible cannibalism in a stressed Late Jurassic ecosystem. *PLoS ONE* 15(5): e0233115.
11. Everhart M.J., Ewell K. 2006. Shark-bitten dinosaur (Hadrosauridae) vertebrae from the Niobrara Chalk (Upper Coniacian) of western Kansas. *Transactions of the Kansas Academy of Sciences*, 109(1–2), pp. 27–35.
12. Fahlke J.M. 2012. Bite marks revisited — evidence for middle-to-late Eocene *Basilosaurus isis* predation on *Dorudon atrox* (both Cetacea, Basilosauridae). *Palaeontologia Electronica* Vol. 15, Iss. 3, 32A, 16p.
13. Farlow J.O., Brinkman D. 1994. Wear surfaces on the teeth of tyrannosaurs. In: Rosenberg G.D., Wolberg D.L., editors. *The Paleontological Society Special Publication*. Knoxville: Dept. Geological Sciences, Univ. of Tennessee. pp. 165–175.
14. Fiorillo A.R. 1991. Prey bone utilization by predatory dinosaurs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 88, Iss. 3–4, pp. 157–166.
15. Fowler D.W., Sullivan R.M. 2006. A ceratopsid pelvis with toothmarks from the Upper Cretaceous Kirtland Formation, New Mexico: evidence of late Campanian tyrannosaurid feeding behavior. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, Vol. 35, pp. 127–130.
16. Torices A., Wilkinson R., Arbour V.M., Ruiz-Omenaca J.I., Currie P.J. 2018. Puncture-and-Pull Biomechanics in the Teeth of Predatory Coelurosaurian Dinosaurs. *Current Biology*, Vol. 28, Iss. 9, pp. 1467–1474.
17. Happ J. 2008. An analysis of predator — prey behavior in a head-to-head encounter between *Tyrannosaurus rex* and *Triceratops*. In: Larson P., Carpenter K., editors. *Tyrannosaurus rex: the tyrant king*. Bloomington: Indiana University Press, pp. 355–370.
18. Hone D.W.E., Rauhut O.W.M. 2010. Feeding behaviour and bone utilization by theropod dinosaurs. *Lethaia*, Vol. 43, Iss. 2, pp. 232–244.
19. Hone D.W.E., Tanke D.H. 2015. Pre-and postmortem tyrannosaurid bite marks on the remains of *Daspletosaurus* (Tyrannosaurinae: Theropoda) from Dinosaur Provincial Park, Alberta, Canada. *PeerJ* 3: e885.
20. Hone D.W.E., Chure D.J. 2018. Difficulties in assigning tracemarkers from theropodan bite marks: an example from a young diplodocoid sauropod. *Lethaia*, 51: pp. 456–466.
21. Horner J.R. 1994. Steak knives, beady eyes, and tiny little arms (a portrait of *Tyrannosaurus* as a scavenger). *The Paleontological Society Special Publication*, Vol. 7, pp. 157–164.
22. Jacobsen A.R. 1998. Feeding behaviour of carnivorous dinosaurs as determined by tooth marks on dinosaur bones. *Historical Biology — An International Journal of Paleobiology*, Vol. 13, Iss. 1, pp. 17–26.
23. Longrich N.R. 2008. Small theropod teeth from the Lance Formation of Wyoming. In: Sankey J.T., Baszio S., editors. *The Unique Role of Vertebrate Microfossil Assemblages in Paleocology and Paleobiology*: Indiana: University Press. pp. 135–158.
24. Noto C.R., Main D.J., Drumheller S.K. 2012. Feeding traces and paleobiology of a Cretaceous (Cenomanian) crocodyliform: example from the Woodbine Formation of Texas. *PALAIOS*, 27(2), pp. 1–11.
25. Peterson J.E., Daus K.N. 2019. Feeding traces attributable to juvenile *Tyrannosaurus rex* offer insight into ontogenetic dietary trends. *PeerJ* 7: e6573.
26. Robinson R.F., Jasinski S.E., Sullivan R.M. 2015. Theropod bite marks on dinosaur bones: indications of a scavenger, predator or both?; and their taphonomic implications. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, 68, pp. 275–282.
27. Sakamoto M. 2022. Estimating bite force in extinct dinosaurs using phylogenetically predicted physiological cross-sectional areas of jaw adductor muscles. *PeerJ* 10: e13731.
28. Schubert B.W., Ungar P.S. 2005. Wear facets and enamel spalling in tyrannosaurid dinosaurs. *Acta Palaeontologica Polonica*, 50, pp. 93–99.
29. Sues H.D., Averianov A.O. 2009. A new basal hadrosauroid dinosaur from the Late Cretaceous of Uzbekistan and the early radiation of duck-billed dinosaurs. *Proceedings of the Royal Society B*, Vol. 276, Iss. 1667, pp. 2549–55.

# ГЕТЕРОГЕННЫЕ СЕТИ: ПРЕИМУЩЕСТВА, НЕДОСТАТКИ, ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

## HETEROGENEOUS NETWORKS: ADVANTAGES, DISADVANTAGES, MAIN PROBLEMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

**M. Abdurakhimova**  
**A. Viduto**  
**D. Eliseeva**  
**D. Nazarova**  
**S. Malakhov**  
**D. Yakupov**

*Summary.* This article is devoted to the analysis of modern network technologies with the main focus on heterogeneous networks. The article analyzes the advantages and disadvantages of such networks, identifies the key problems they face, and presents opportunities for their further development. The study examines in detail the positive aspects of heterogeneous networks. However, attention is also drawn to difficulties and disadvantages. In addition, the main problems currently faced by heterogeneous networks are being investigated, such as optimizing resource management, improving performance and ensuring security. The article also examines the prospects for the development of heterogeneous networks in the future and identifies areas for further research aimed at overcoming the main problems and improving the efficiency and reliability of such networks.

*Keywords:* heterogeneous networks, network technologies, technologies, information technology, productivity.

**Абдурахимова Мадина Анваровна**

Поволжский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики  
 nuda21068@gmail.com

**Видута Анастасия Андреевна**

Поволжский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики  
 anastasia.viduto08@gmail.com

**Елисеева Диана Вячеславовна**

Поволжский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики  
 dianka.eliseeva.90@gmail.com

**Назарова Дарья Дмитриевна**

Поволжский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики  
 yess1703@gmail.com

**Малахов Сергей Валерьевич**

Кандидат технических наук,  
 Поволжский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики  
 s.malakhov@psuti.ru

**Якупов Денис Олегович**

Аспирант, Поволжский государственный университет  
 телекоммуникаций и информатики  
 d.yakupov@psuti.ru

*Аннотация.* Данная статья посвящена анализу современных сетевых технологий с основным фокусом на гетерогенных сетях. В статье проводится анализ преимуществ и недостатков таких сетей, выявляются ключевые проблемы, с которыми они сталкиваются, а также представляются возможности их будущего развития. Исследование подробно рассматривает позитивные стороны гетерогенных сетей. Однако, также обращается внимание на трудности и недостатки. Кроме того, исследуются основные проблемы, с которыми гетерогенные сети сталкиваются в настоящее время, такие как оптимизация управления ресурсами, повышение производительности и обеспечение безопасности. Также статья рассматривает перспективы развития гетерогенных сетей в будущем и выделяет направления для дальнейших исследований, нацеленных на преодоление основных проблем и улучшение эффективности и надежности таких сетей.

*Ключевые слова:* гетерогенные сети, сетевые технологии, технологии, информационные технологии, производительность.

### Введение

В современном мире, когда доступ к информации и связность становятся ключевыми составляющими нашей повседневной жизни, гетерогенные сети выступают важным элементом современной информационной инфраструктуры. Существует постоянная потребность в создании сетевых сред, которые могут ин-

тегрировать разнообразные технологии и устройства для обеспечения надежной и эффективной связности. В этом контексте гетерогенные сети, которые объединяют в себе различные операционные системы, протоколы и устройства, играют важную роль.

Гетерогенные сети представляют собой интегрированные среды, состоящие из различных подсетей, ис-

пользующих разные стандарты и технологии связи. Они создают единую систему, где происходит непрерывный и незаметный для пользователей переход между различными сетевыми средами. Принцип их работы заключается в создании гибкой и адаптивной инфраструктуры, которая способна эффективно управлять разнообразными устройствами и технологиями для обеспечения надежной связи и высокого качества обслуживания. В условиях растущего спроса на пропускную способность в городских средах телекоммуникационным компаниям ставится задача создания сетей, которые могли бы интегрировать различные стандарты и технологии для обеспечения надежной и быстрой передачи данных. Гетерогенные сети должны обеспечивать не только взаимодействие между различными уровнями сети, но и сетями на разных технологиях радиодоступа, начиная от классических GSM и заканчивая более современными LTE. Они представляют собой ключевой элемент развития телекоммуникаций, обеспечивая эффективное использование сетевых ресурсов и повышая удовлетворение потребностей пользователей в качественной связи.

Цель нашего исследования заключается в анализе преимуществ, недостатков, основных проблем и перспектив развития гетерогенных сетей в будущем. Мы стремимся понять, как гетерогенные сети могут быть максимально эффективно использованы для обеспечения связности и передачи данных в различных областях и применениях.

### Преимущества и недостатки гетерогенных сетей

Гетерогенные сети, объединяющие различные технологии и типы ячеек, стали ключевым компонентом современных коммуникационных систем, превосходя традиционные сети по ряду параметров. В отличие от сетей, где применяется только один тип базовых станций и устройств, гетерогенные сети обеспечивают более эффективное покрытие и повышают качество обслуживания [1], [10].

Одно из главных преимуществ гетерогенных сетей — их способность адаптироваться к различным потребностям и условиям. Благодаря использованию разных типов базовых станций, включая макроячейки, микроячейки, пикоячейки и фемтоячейки, эти сети могут обеспечивать связь как в густонаселенных городах, так и в удаленных районах. Такой подход позволяет оптимально использовать ресурсы сети и обеспечивать высокое качество услуг даже при большой нагрузке или изменении условий [4].

Еще одним преимуществом гетерогенных сетей является повышенная пропускная способность и скорость передачи данных. Благодаря комбинации различных технологий, таких как LTE, Wi-Fi, и в будущем 5G, эти сети

способны обеспечить более быструю и надежную связь для конечных пользователей [2], [3], [9]. Это особенно важно в контексте растущего количества устройств, требующих постоянного подключения к интернету, и повышенной потребности в передаче больших объемов данных.

Гетерогенные сети помимо своих преимуществ обладают и недостатками. Один из главных недостатков — это сложность управления разнообразием устройств и технологий в сети. Управление интерференцией между различными типами базовых станций и устройствами может быть сложной задачей. Если не управлять интерференцией эффективно, это может привести к снижению производительности сети и ухудшению качества обслуживания для пользователей. Например, в городах с высокой плотностью застройки сигналы от различных сотовых базовых станций и Wi-Fi точек доступа могут перекрываться, что приводит к ухудшению качества связи.

Еще одним недостатком является сложность обеспечения безопасности сети. С увеличением числа устройств и точек доступа в гетерогенных сетях увеличивается потенциальная уязвимость для кибератак. Недавние кибератаки на умные устройства, такие как камеры видеонаблюдения и умные домашние устройства, подчеркнули этот риск.

Также следует отметить проблемы управления мобильностью в гетерогенных сетях. Переход между различными типами сетей, такими как Wi-Fi и сотовые сети, может быть не всегда плавным и эффективным, что может привести к потере соединения или перерывам в передаче данных.

### Проблемы гетерогенных сетей

Гетерогенные сети сталкиваются с несколькими ключевыми проблемами, включая управление интерференцией, где множество устройств конкурируют за доступ к ресурсам, что может существенно снизить производительность и качество обслуживания. Управление мобильностью также является одной из проблем, так как требует эффективного перехода между различными типами сетей для обеспечения бесперебойного соединения [5]. Безопасность является все более критическим аспектом с ростом числа устройств и точек доступа, подвергая данные и конфиденциальность пользователей угрозе. Энергоэффективность становится важной задачей в свете увеличения энергопотребления с ростом числа устройств и объема передаваемых данных. Наконец, эффективное распределение ресурсов в гетерогенных сетях требует учета разнообразных характеристик устройств для обеспечения оптимальной производительности и качества обслуживания.

В современных беспроводных сетях, включая пятого поколения (5G) и предполагаемые шестое поколение (6G), гетерогенные сети (HetNet) играют ключевую роль в обеспечении широкополосной и высокоскоростной связи для разнообразных устройств и приложений. Гетерогенные сети объединяют в себе различные типы ячеек, такие как макроячейки, микроячейки, пикоячейки и фемтоячейки, для обеспечения лучшего покрытия и увеличения пропускной способности. Однако, управление ресурсами в гетерогенных сетях является сложной задачей из-за различных характеристик ячеек, динамически изменяющейся нагрузки и требований к качеству обслуживания.

Одной из ключевых проблем является разработка эффективных алгоритмов и методов управления ресурсами, которые учитывают динамические изменения в сети, а также разнообразные требования и приоритеты пользователей. Это включает в себя оптимизацию пропускной способности, минимизацию интерференции, повышение энергоэффективности и обеспечение устойчивого качества обслуживания даже в условиях высокой нагрузки и мобильности пользователей.

#### Методы их решения

Одним из методов решения перечисленных проблем гетерогенных сетей является создание моделей и архитектур. Модели и архитектуры гетерогенных сетей представляют собой концептуальные и технические описания организации сети, её компонентов и взаимодействий между ними. Они необходимы для понимания и проектирования сетей, состоящих из различных типов устройств, технологий и архитектур, таких как макроячейки, микроячейки, Wi-Fi точки доступа и другие. Также они позволяют инженерам и исследователям более эффективно управлять и оптимизировать сеть, принимать решения о размещении и настройке устройств, управлении ресурсами, улучшении качества обслуживания и обеспечении безопасности.

Существует несколько моделей и архитектур гетерогенных сетей, которые могут быть применены в различных сценариях. Можно выделить несколько основных моделей и архитектур такие, как модель комбинации макросотовых и микросотовых сетей, архитектура клеток различного размера, архитектура облачных сетей доступа (CRAN), архитектура виртуализированных сетей доступа (V-RAN).

Модель комбинации макросотовых и микросотовых сетей является одной из наиболее широко используемых архитектур в гетерогенных сетях. В этой модели макросотовые соты обеспечивают широкое покрытие и обслуживают большие территории, такие как города или пригороды. Они обычно используются для переда-

чи данных на большие расстояния и обеспечивают базовый уровень связи для мобильных устройств. С другой стороны, микросотовые соты расположены ближе друг к другу и обычно используются в плотно застроенных районах или внутри зданий. Они обеспечивают более высокую пропускную способность и качество обслуживания в зонах с высокой плотностью пользователей, таких как торговые центры, аэропорты, стадионы и т. д. [6].

Кроме того, комбинированные сети могут использовать технологии координации между базовыми станциями для уменьшения интерференции и улучшения производительности. Это может включать в себя использование методов координированного многоканального доступа и механизмов совместной передачи данных, чтобы обеспечить эффективное использование ресурсов спектра и улучшить качество обслуживания для всех пользователей. В целом, модель комбинации макросотовых и микросотовых сетей является эффективным подходом к созданию гибридных сетей, которые могут обеспечивать высокую производительность и качество обслуживания в разнообразных сценариях использования, от открытых пространств до внутренних помещений.

#### Перспективы развития и будущее гетерогенных сетей

Важно обсудить перспективы развития гетерогенных сетей. Например, развитие технологий интернета вещей (IoT), таких как LoRaWAN и NB-IoT. Это два из наиболее широко используемых протоколов для связи в сетях IoT. Оба эти протокола играют важную роль в развитии IoT-технологий, обеспечивая гибкость, надежность и энергоэффективность для широкого спектра приложений, начиная от умных устройств домашнего использования и заканчивая промышленными системами мониторинга и управления. Интернет вещей (IoT) представляет собой сеть физических объектов, оборудованных специальными датчиками, устройствами и программным обеспечением, которые позволяют им собирать и обмениваться данными через интернет. Основная идея заключается в том, чтобы предметы окружающей нас среды (вещи) могли взаимодействовать между собой и с внешними системами, делая их «умными» и автоматизированными.

Гетерогенные сети могут играть важную роль в обеспечении связи между автономными транспортными средствами и инфраструктурой дорожного движения. Это позволяет реализовать функции платформы Vehicle-to-Everything (V2X), включая обмен данными о трафике, предупреждение об опасности и координацию движения для обеспечения безопасности и эффективности дорожного движения. Интеграция сенсорных сетей в гетерогенные сети может быть полезной для мониторинга и управления окружающей средой, инфраструктурой

и производственными процессами. Например, сенсоры, размещенные на инфраструктуре города или в промышленных объектах, могут передавать данные о качестве воздуха, уровне шума, температуре и других параметрах в реальном времени, что позволяет принимать обоснованные решения и улучшать условия жизни и работы [7].

Еще одним направлением развития является применение гетерогенных сетей в новых областях. К примеру, они могут быть использованы для создания инфраструктуры телемедицины, обеспечивая связь между медицинскими устройствами, пациентами и медицинским персоналом на расстоянии. Например, врачи могут мониторить состояние пациентов в реальном времени, получать данные о показателях здоровья и предоставлять консультации дистанционно с использованием гетерогенных сетей. Гетерогенные сети могут стать основой для развития дистанционного образования и доступа к образовательным ресурсам в любой точке мира. В промышленности гетерогенные сети могут использоваться для создания «умных» производственных систем, которые обеспечивают мониторинг и управление процессами производства в реальном времени. Это позволяет повысить эффективность, безопасность и гибкость производства, а также внедрить концепцию «индустрии 4.0». Также сети могут играть ключевую роль в создании инфраструктуры умных городов, обеспечивая связь между различными элементами городской инфраструктуры, такими как уличное освещение, транспортная система [8]. Гетерогенные сети представляют собой важный инструмент для развития инновационных сфер деятельности, расширяя возможности современных технологий и создавая новые перспективы для применения в различных областях.

#### Примеры и кейсы успешного применения гетерогенных сетей в различных условиях

##### *Городские сети и общественные места*

Пример 1: Гетерогенные сети в Сингапуре

Пример: В торговых центрах и офисных зданиях используются микроячейки для улучшения качества связи.

Кейс: В торговом центре VivoCity микроячейки и точки доступа Wi-Fi обеспечивают высокоскоростной интернет для посетителей, что улучшает их покупательский опыт и позволяет арендаторам использовать современные цифровые решения для бизнеса.

Результаты: Увеличение числа посетителей и повышение удовлетворенности клиентов.

Пример 2: Гетерогенные сети в Лондоне. Пример: Внедрение микроячеек и Wi-Fi точек в публичных местах.

Кейс: В районе Ковент-Гарден гетерогенные сети позволяют обеспечить высокую скорость интернета для туристов и местных жителей. Это особенно важно в пиковые часы, когда традиционные сети перегружены. Результаты: Стабильная связь для всех пользователей, уменьшение перегрузок сети.

##### *Отдаленные и сельские районы*

Пример 1: Гетерогенные сети в сельских районах Индии

Пример: Использование фемтоячеек для создания зон покрытия в деревнях.

Кейс: В деревне Палафенга установлены фемтоячейки, которые обеспечивают доступ к мобильной связи и интернету для местных жителей.

Результаты: Улучшение доступа к образованию и здравоохранению, повышение качества жизни.

Пример 2: Гетерогенные сети в отдаленных районах Австралии. Пример: Внедрение микроячеек для связи в малонаселенных районах.

Кейс: В регионе Кимберли установка микроячеек позволила обеспечить связь для местного населения и фермеров.

Результаты: Повышение безопасности и улучшение условий жизни благодаря доступу к информации и услугам.

##### *Умные технологии (IoT)*

Пример 1: Умные города в Нидерландах

Пример: Датчики качества воздуха и управления уличным освещением.

Кейс: В Роттердаме датчики качества воздуха передают данные в реальном времени, что позволяет оперативно реагировать на ухудшение экологической обстановки. Умные фонари регулируют уровень освещения в зависимости от присутствия людей, что снижает энергопотребление.

Результаты: Улучшение экологической ситуации и экономия электроэнергии.

Пример 2: Умные фермы в США. Пример: Мониторинг почвы и контроль состояния животных.

Кейс: В Калифорнии датчики влажности почвы помогают оптимизировать полив, а биометрические датчики на животных позволяют своевременно обнаруживать заболевания.

Результаты: Увеличение урожайности и улучшение здоровья животных.

*Промышленность и умные фабрики*

Пример 1: Заводы в Германии

Пример: Виртуализированные сети доступа (V-RAN) и датчики на производственных линиях.

Кейс: на заводах компании Siemens используются V-RAN и датчики для мониторинга производственных процессов в реальном времени, что помогает оптимизировать использование ресурсов.

Результаты: Снижение затрат и повышение производительности.

Пример 2: Умные фабрики в Южной Корее

Пример: Интеграция IoT устройств для автоматизации процессов.

Кейс: на фабрике Samsung внедрены датчики и устройства, которые контролируют температуру и влажность в производственных цехах, что обеспечивает оптимальные условия для работы оборудования.

Результаты: Повышение качества продукции и уменьшение простоев оборудования.

### Вывод

В заключение, обсуждаемая статья акцентирует внимание на значимости гетерогенных сетей в современном обществе, где увеличивающийся спрос на широкополосную и высокоскоростную связь стимулирует поиск новаторских методов организации и управления сетевыми ресурсами. Гетерогенные сети, интегрируя разнообразные технологии и типы ячеек, представляют собой гибкий и эффективный механизм обеспечения связи в самых разных условиях, от густонаселенных городов до удаленных районов.

Основные достоинства гетерогенных сетей, такие как увеличенная пропускная способность, гибкость и способность адаптации к различным ситуациям, делают их центральным элементом в современных коммуникационных системах. В будущем гетерогенные сети могут найти применение в различных областях, таких как интернет вещей, автономные транспортные средства, медицинское обслуживание, образование, промышленность и создание умных городов. Это открывает новые горизонты для развития инновационных технологий и приложений, которые могут значительно улучшить эффективность, безопасность и качество жизни людей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Инновационные методы передачи данных в информационных сетях [Электронный ресурс] // Студенческий научный форум: [сайт]. — URL: <https://scienceforum.ru/2024/article/2018035661> (дата обращения: 11.06.2024).
2. Кхандекар А., Г. Нейл, Т.Ф. Лэйси, Л.Э. Гарсиа, Дж. Жанг. LTE-Advanced: гетерогенные сети / А. Кхандекар, Г. Нейл, Т.Ф. Лэйси, Л.Э. Гарсиа, Дж. Жанг // Конференция European Wireless, 2010.
3. 3GPP Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA) и Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Общее описание; Этап 2 (Релиз 10). — ETSI TS 136 300 V10.2.0. — Sophia Antipolis: ETSI, 2011.
4. Исмаил М., Шакир М.З., Караке Х.А., Серпедин Э. Зеленые гетерогенные беспроводные сети / Мухаммад Исмаил, Мухаммад Зеешан Шакир, Халид А. Караке, Эрчин Серпедин. — Издательство Wiley-IEEE, 2016. — 272 с. — ISBN 9781119088042.
5. Марчезе М. QoS в гетерогенных сетях / Марио Марчезе. — Издательство Wiley Telecom, 2007. — 328 с. — ISBN 9780470058763.
6. Цинян Ху.Р., Циан И. Гетерогенные сотовые сети / Роуз Цинян Ху, И Циан. — Издательство Wiley Telecom, 2013. — 384 с. — ISBN 9781118555262.
7. Патель С., Явуз М., Нанда С. Фемтоклетки [Индустриальные перспективы] / С. Патель, М. Явуз, С. Нанда // IEEE Wireless Commun. Mag., 2010. — Окт.
8. Дамнянович А., Монтохо Х., Вэй Й., Джи Т., Ло Т., Ваджапеям М.Ю.Т., Сонг О., Маллади Д. Исследование гетерогенных сетей 3GPP / Александр Дамнянович, Хуан Монтохо, Йонбин Вэй, Тинфан Джи, Тао Ло, Мадхаван Ваджапеям, Тэсанг Ю, Осок Сонг, Дурга Маллади // IEEE Wireless Communications. — 2011. — Т. 18, вып. 3. — С. 10–21.
9. Хан С.А., Шайеа И., Эрген М., Мохаммад Х. Управление передачей данных по двойной связи в технологии 5G с будущими сверхплотными мобильными гетерогенными сетями: обзор / Саджад Ахмад Хан, Ибрахим Шайеа, Мустафа Эрген, Хафизал Мохаммад // Инженерные науки и технологии, международный журнал. — 2022. — № 35.
10. Рашид З., Ашраф Ш., Ибупото Н.А., Батт П.Х., Садик Э.Х. Гетерогенные сети / Зеешан Рашид, Шахзад Ашраф, Наим Ахмед Ибупото, Пиниал Хан Батт, Эмад Хуссен Садик // Энциклопедия научного сообщества. — 2022.

© Абдурахимова Мадина Анваровна (nuda21068@gmail.com); Видуто Анастасия Андреевна (anastasia.viduto08@gmail.com); Елисеева Диана Вячеславовна (dianka.eliseeva.90@gmail.com); Назарова Дарья Дмитриевна (yess1703@gmail.com); Малахов Сергей Валерьевич (s.malakhov@psuti.ru); Якупов Денис Олегович (d.yakupov@psuti.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# НАРРАТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В УПРАВЛЕНИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

## NARRATIVE MODELING IN THE MANAGEMENT OF SOCIO- ECONOMIC SYSTEMS

**S. Aksenov  
P. Lazarev**

*Summary.* The text discusses approaches to modeling the management process in socio-economic systems. A management model is proposed in which goal setting is considered as a dynamic process that forms the controlled development of a socio-economic system throughout its entire life cycle, and goal achievement is understood as the activity of subjects and objects of management to achieve a given common goal within a dynamically formed goal space. Management is modeled as a compromise between setting and achieving goals, the goal of which is to ensure the existence of the system and fulfill its mission in accordance with environmental conditions. Fulfilling the mission of the system, given its continuous interaction with the environment, requires constant collection and processing of data on the current state of the system and its environment, as well as constant monitoring and analysis of information flows as information carriers necessary for making operational and informed management decisions. Socio-economic systems with computing resources that provide information flow management are considered as cybersocial systems. The management process in socio-economic systems is considered in the context of narrative practice, and accordingly, the narrative management model does not fundamentally model human behavior as a subject and object of management.

*Keywords:* socio-economic system, management, goal setting, goal achievement, narrative management, cybersocial system, management support software package.

На благосостояние общества большое влияние оказывают социально-экономические системы (СЭС), разработанные для удовлетворения его потребностей. Для достижения желаемых результатов в области СЭС необходимо эффективно управлять процессами системы. Поскольку проведение полевых экспериментов с реальными СЭС неосуществимо, моделирование процессов управления необходимо для принятия обоснованных решений как о целях, так и о стратегиях.

Классическая теория менеджмента рассматривает постановку целей как важнейший начальный шаг в организации деятельности социально-экономической системы, направленной на достижение общей цели управления. Модели целей обычно используются для представления состава, характеристик и взаимосвязей

**Аксенов Сергей Геннадьевич**  
Доктор экономических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий  
beregrilya@mail.ru  
**Лазарев Пётр Тимофеевич**  
магистрант,  
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий  
pavel1112w@mail.ru

*Аннотация.* В тексте рассматриваются подходы к моделированию процесса управления в социально-экономических системах. Предложена модель управления, в которой целеполагание рассматривается как динамический процесс, формирующий управляемое развитие социально-экономической системы на протяжении всего ее жизненного цикла, а достижение цели понимается как деятельность субъектов и объектов управления по достижению заданной общей цели в рамках динамически формируемого пространства целей. Управление моделируется как компромисс между постановкой и достижением целей, конечной целью которого является обеспечение существования системы и выполнения ее миссии в соответствии с условиями окружающей среды. Выполнение миссии системы, учитывая ее непрерывное взаимодействие с окружающей средой, требует постоянного сбора и обработки данных о текущем состоянии системы и ее окружении, а также постоянного мониторинга и анализа информационных потоков как носителей информации, необходимой для принятия оперативных и обоснованных управленческих решений. Социально-экономические системы с вычислительными ресурсами, обеспечивающими управление информационными потоками, рассматриваются как киберсоциальные системы. Процесс управления в социально-экономических системах рассматривается в контексте нарративной практики, и, соответственно, нарративная модель управления принципиально не моделирует поведение человека как субъекта и объекта управления.

*Ключевые слова:* социально-экономическая система, управление, целеполагание, целедостижение, нарративное управление, киберсоциальная система, программный комплекс поддержки управления.

целей, которые определяются типом и назначением модели. Следующий этап включает в себя разработку стратегий для достижения целей, изложенных в целевой модели. Предполагается, что структура целей остается неизменной на протяжении всего развития системы, а руководство сосредоточено на организации деятельности по достижению этих целей. Для моделирования достижения целей используются различные количественные и качественные методы моделирования. Существующие модели достижения целей основаны на предположениях о том, что цель конечна и достижима и что стратегии ее достижения уже существуют.

В соответствии с классической теорией менеджмента постановка и достижение целей рассматриваются как последовательные этапы управления социально-эконо-

мическими системами. Модели процессов управления обычно состоят из отдельных моделей постановки и достижения целей, каждая из которых предназначена для поддержки соответствующих этапов управления в рамках СЭС.

Стремительный технологический и информационный прогресс создал обширное глобальное информационное пространство. Глубокие изменения в обществе, вызванные влиянием этого информационного пространства, частью которого неизбежно является каждая социально-экономическая система, значительно изменили роль информации в задачах управления в рамках таких систем. Учитывая естественную эволюцию СЭС в рамках этого информационного пространства, важно переоценить постановку и достижение целей как ключевые компоненты управления СЭС и разработать новые подходы к моделированию процесса управления, адаптированные к новым условиям их функционирования.

Управление социально-экономическими системами, которые постоянно взаимодействуют с информационной средой, требует постоянного мониторинга состояния системы и динамики ее развития. Это обуславливает необходимость пересмотра целей при разработке системы. В этом контексте постановка целей должна включать создание исходной модели целей и ее динамическое обновление (модификация) на основе действий, предпринимаемых как субъектами, так и объектами управления, с учетом текущего состояния системы и окружающей среды.

Авторы предлагают целевую модель, которая отражает текущее состояние управляемой системы и формирует динамичное, структурно упорядоченное пространство. Для моделирования этого целевого пространства они используют методы универсальной алгебры, позволяющие создавать и динамически изменять пространство, а также рассчитывать динамику его достижения в рамках заданной структурной связности. Целеполагание рассматривается как непрерывный процесс, а достижение целей — как деятельность субъектов и объектов управления, направленная на достижение общей цели в рамках динамически формируемого пространства целей. Процессы постановки и достижения целей динамично взаимодействуют и определяют друг друга, обеспечивая контролируемое развитие системы на протяжении всего ее жизненного цикла [7–9].

С этой точки зрения, общая цель порождает все большее число конкретных задач, достижение которых определяет успех миссии социально-экономической системы в обществе. Общая цель привязана не к конкретному времени достижения, а скорее к существованию системы. Миссия рассматривается как индуктивный предел динамично развивающегося целевого пространства.

Лицо, ответственное за разработку стратегии управления, является носителем миссии, и оно обладает окончательной властью при принятии управленческих решений.

Проблема разработки стратегий для достижения целей управления является важнейшей в управлении социально-экономическими системами. В СЭС невозможно предсказать, приведет ли выбранная стратегия управления к достижению желаемой цели. Не существует заранее определенных «правильных» стратегий, а скорее уверенность человека в достижении цели, основанная на его опыте, чувстве ответственности и компетентности. Выбранная стратегия управления определяет не только будущее состояние системы, но и само ее существование. Таким образом, будущее системы присутствует в понимании человеком настоящего в форме повествования, которое можно рассматривать как «инструкции по созданию будущего в настоящем». Такое понимание поведения и функционирования системы позволяет нам применять нарративный подход к управлению СЭС, основанный на субъективности любой стратегии управления, выбранной человеком, и его ответственности за ее реализацию.

Выполнение миссии социально-экономической системы, включающей постановку и достижение целей, требует непрерывного сбора и обработки данных о текущем состоянии системы и окружающей среде, а также постоянного мониторинга и анализа информационных потоков. Эти потоки несут важную информацию для принятия оперативных и обоснованных управленческих решений. В доинформационную эпоху сохранялся баланс между объемом хранимых данных и способностью человека обрабатывать их и принимать решения. Современные информационные технологии значительно увеличили объем доступных данных. В настоящее время интенсивность информационных потоков превышает возможности человека отбирать и анализировать необходимые данные для обеспечения устойчивого развития системы в условиях окружающего шума. Эффективное управление СЭС в этих условиях возможно только при наличии доступа к вычислительным ресурсам и технологиям, обеспечивающим непрерывный сбор, обработку и анализ больших объемов данных, необходимых для понимания системных процессов. Вычислительные ресурсы должны быть интегрированы в СЭС на основе кибернетических принципов, которые регулируют управление информационными ресурсами, а управление информационными потоками должно быть согласовано с целями СЭС. Эту организованную СЭС с кибернетической «вставкой» в ее структуру можно определить как киберсоциальную систему (КСС).

Концепция киберсоциальных систем появилась недавно, и четкое понимание этого термина еще не полу-

чило всеобщего признания. В контексте КСС она моделируется как киберсеть агентов, отслеживающих статус отдельных лиц в социальной сети, где каждый узел представляет агента, а ссылки представляют обмен информацией между агентами. Разработанная модель предназначена для решения NP-сложных задач оптимизации в социальных сетях. Категория KSS рассматривается как результат взаимодействия социально-экономических систем и кибертехнологий, обусловленный фундаментальными преобразованиями в различных видах человеческой деятельности в контексте цифровых технологий. Киберсоциальные системы классифицируются как новая категория СЭС в результате интеграции человеческих субъектов в киберфизические системы, которые моделируются как комбинация социально-технических систем и человеческого поведения. Эта новая категория СЭС обозначается как КСС, где непрерывный рост спонтанных информационных потоков приводит к постепенной замене реальной системы ее виртуальным представлением в киберпространстве. Управление системой заменяется управлением ее информационным образом, основанным на кибернетических принципах.

Включение кибернетических принципов в качестве общих принципов вывода последующего состояния системы из ее предыдущего состояния в управление СЭС позволяет принимать решения на основе анализа информационных потоков, определяющих динамику взаимодействия системы с окружающей средой. Такой подход позволяет рассматривать их как кибернетическую социальную систему.

Невозможность достижения поставленной цели в процессе управления кибернетической социальной системой не означает, что кибернетические принципы неэффективны. Кибернетика сама по себе не отвечает за формирование целей. Ее задача — способствовать формированию информационных потоков и управлению ими для достижения поставленной цели управления. Управление в любой социально-экономической системе осуществляется человеком, и конечной целью управления является обеспечение существования системы и выполнение ее миссии, определенной окружающей средой системы.

Научная новизна данного исследования заключается в предложении авторами концепции нарративного управления социально-экономическими системами. Эта концепция основана на двойственности процессов целеполагания и достижения целей, не моделируемых компетенциях и ответственности человека как субъекта и объекта управления, а также организации процесса управления в соответствии с кибернетическими принципами. Для поддержки этапов нарративного управления были разработаны соответствующие математические модели, обеспечивающие формализацию и разумную

интерпретацию в терминах реальной моделируемой системы. Эти модели охватывают построение и модификацию пространства целей, поиск доступных целей и оценку достижимости целей.

Предлагаемая концепция управления социально-экономическими системами (СЭС) обеспечивает возможность мониторинга и поддержания наблюдаемости и управляемости системы в процессе ее функционирования с учетом ее возможных состояний, которые могут привести к изменениям в целевом пространстве. Интеграция кибернетических принципов в управление СЭС позволяет посредством целеполагания определить форму достижения цели, т. е. порядок и тип действий, соответствующих соответствующим целям. Нарративный подход к организации управления устраняет проблему недостижимых целей, но обеспечивает необходимость существования СЭС благодаря ее интеграции в процесс общественного развития. Таким образом, киберсоциальная концепция (ССС) реализует нарративную модель управления, в которой поведение людей как субъектов и объектов управления не подлежит моделированию, а участники сами несут ответственность за свои действия. Результаты их действий, приводящие к невозможности достижения цели, компенсируются изменением целевого пространства без потери его структурной связности как необходимого условия существования системы.

Предложена модель управления социально-экономическими системами, основанная на двойственности процессов постановки и достижения целей, которые динамично взаимодействуют и определяют друг друга. В этих рамках целеполагание реализуется как нарративная практика, где человек представляет будущее в терминах настоящего, а достижение цели достигается посредством действий, совершаемых в настоящем, определяемых несостоявшимся будущим. Поведение человека как субъекта и объекта управления не моделируется, и участники несут ответственность за свои действия. Математическое моделирование используется для поддержки этапов управления, когда применимые модели допускают разумную интерпретацию в терминах реальной моделируемой системы. Нарративное управление устраняет проблему недостижимых целей, но обеспечивает необходимость существования СЭС за счет интеграции в общественное развитие. Эта модель применима для поддержки управления в реальной СЭС. Планируется внедрение программного комплекса для поддержки нарративного управления с целью решения вопросов формирования комфортной городской среды и жилищной политики муниципалитетов.

В рамках дальнейших исследований предлагается разработать принципы моделирования информационных потоков как форм представления процессов

постановки и достижения целей в контексте нарративного управления. Это позволит моделировать социально-экономические системы (СЭС) как информационный

фрагмент в сетевом информационном пространстве, образованном множеством открытых, взаимодействующих СЭС (организаций).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.Г., Ишмеева А.С., Губайдуллина И.Н., Губайдуллин Э.И. Основные подходы к исследованию понятия «Экономическая безопасность» // *Индустриальная экономика*, 2023. — С. 164–170.
2. Аксенов С.Г., Синагатуллин Ф.К. К вопросу об управлении силами и средствами на пожаре // *Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность 2020): Материалы II Международной научно-практической конференции*. — Уфа: РИК УГАТУ, 2020. — С. 124–127.
3. Одинцова М.А. Целеполагание как одна из ключевых проблем стратегического менеджмента. *Экономический журнал*, 2016, № 41, с. 52–63.
4. Коржан О.Ю. Стратегическое целеполагание организации: теоретические подходы и практические проблемы. *Вестник Института экономики Российской академии наук*, 2017, № 2, с. 168–175.
5. Лукьянова Л.М. Целеполагание, анализ и синтез целей в сложных системах: модели и методы моделирования. *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*, 2007, № 5, с. 100–113.
6. Кушников В.А., Мурзин С.И. Разработка моделей целей управления сложными социальными и экономическими системами на основе знаковых оргграфов. *Вестник СГТУ*, 2009, № 2 (43), с. 202–204.
7. Савченко Е.Ю., Белкин А.А. Целеобразование и целедостижение в организациях. *Научно-практические исследования*, 2017, № 7, с. 179–182.
8. Власова Е.М. Целеполагание и целедостижение — сущностные характеристики деятельностного процесса. *Россия и АТР*, 2002, № 3, с. 102–111.
9. Shabalina O.A., Yerkin D., Davtian A., et al. Lattice-theoretical approach to modeling naturally ordered structures. *Proc. III Int. Sci. Conf. Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine*, 2016, pp. 158–161. DOI: <https://dx.doi.org/10.2991/itsmssm-16.2016.85>
10. Еркин Д.А., Шабалина О.А. Декларативное описание структурных моделей систем. *Известия Волгоградского государственного технического университета*, 2016, № 3, с. 36–40.
11. Давтян А.Г., Шабалина О.А., Садовникова Н.П. и др. Динамическое целеполагание в социально-экономических системах. *Вестник компьютерных и информационных технологий*, 2016, № 11, с. 46–53. DOI: <https://doi.org/10.14489/vkit.2016.11.pp.046-053>

© Аксенов Сергей Геннадьевич (beregriya@mail.ru); Лазарев Пётр Тимофеевич (pavel1112w@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

## WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF DATA TRANSMISSION IN DISTANCE LEARNING SYSTEMS

**Al Hakim Rida  
E. Kovaleva**

*Summary.* In the modern educational context, where distance learning is becoming an integral part of the educational process, the effectiveness of data transmission plays a crucial role in providing quality education. This article is devoted to the development of algorithms aimed at improving the efficiency of data transmission in distance learning systems. This introduction substantiates the relevance of research in this area, formulates the goals and objectives of this chapter, and provides a brief description of the plan of its structure.

With the growing number of students using distance learning resources, the question arises about the effectiveness of data transmission in distance learning networks. Existing challenges include the need to ensure stable access to educational materials, minimize delays, and ensure high-quality learning.

This article is devoted to the development of algorithms aimed at improving the efficiency of data transmission in distance learning systems. The study covers three main approaches: quality of service (QoS) management in software-configurable networks (SDN), QoS management in traditional networks, and the development of an algorithm for teaching in conditions of limited Internet connection or inability to manage the network.

*Keywords:* distance learning, quality of service, multimedia, network protocols, shortest path algorithms, SDN network.

**Аль Хаким Рида**

*Аспирант, Российский университет дружбы народов,  
Al\_khakim\_r@pfur.ru*

**Ковалева Екатерина Александровна**

*Кандидат экономических наук, доцент,  
Российский университет дружбы народов  
kovaleva\_ea@pfur.ru*

*Аннотация.* В современном образовательном контексте, где дистанционное обучение становится неотъемлемой частью образовательного процесса, эффективность передачи данных играет решающую роль в обеспечении качественного обучения. Данная статья посвящена разработке алгоритмов, направленных на повышение эффективности передачи данных в системах дистанционного обучения.

С ростом числа обучающихся, использующих дистанционные образовательные ресурсы, встает вопрос об эффективности передачи данных в сетях дистанционного обучения. Существующие вызовы включают в себя необходимость обеспечения стабильного доступа к образовательным материалам, минимизацию задержек и обеспечение высокого качества обучения.

Данная статья посвящена разработке алгоритмов, направленных на повышение эффективности передачи данных в системах дистанционного обучения. Исследование охватывает три основных подхода: управление качеством обслуживания (QoS) в программно-конфигурируемых сетях (SDN), управление QoS в традиционных сетях и разработка алгоритма преподавания в условиях ограниченного интернет-соединения или невозможности управления сетью.

*Ключевые слова:* дистанционное обучение, качество обслуживания, мультимедиа, сетевые протоколы, алгоритмы кратчайшего пути, сеть SDN.

## Введение

В эпоху всё более распространённого онлайн-обучения качество дистанционного обучения становится приоритетным вопросом. В данной главе рассматривается ключевая роль управления качеством обслуживания (QoS) в обеспечении эффективной и бесперебойной образовательной среды на расстоянии.

Дистанционное обучение, характеризующееся зависимостью от цифровой инфраструктуры [1, с. 480] и технологий удалённого взаимодействия, представляет уникальные вызовы, связанные с сетевой перегрузкой, задержками, ограниченной пропускной способностью и непрерывной передачей образовательного контента. QoS возникает как критический фактор успеха онлайн-образования, влияя на аспекты, начиная от стриминга

видео в режиме реального времени и интерактивных классов до доставки контента.

Благодаря электронному обучению учащиеся могут получить доступ к ресурсам и информации из любого места и в любое время. Однако успешное внедрение электронного обучения зависит от готовности к запуску этой системы, поскольку без надлежащей готовности проект, вероятно, провалится [2, с. 158]. Готовность к электронному обучению относится к оценке того, насколько учебное заведение готово принять и внедрить электронное обучение.

Сначала, для правильного понимания цели данной работы, надо разобраться со следующими терминами: Качество обслуживания (англ. Quality of Service или QoS) и Качество Опыта (англ. Quality of Experience или QoE).

Инструменты онлайн-обучения широко используются в любом виде образовании, это включает в себя традиционное очное, а также дистанционное обучение. Поскольку эти инструменты зависят от подключения к Интернету, производительность этих подключений (скорость, задержка) может повлиять на то, как учащиеся воспринимают инструменты обучения. Качество обслуживания (QoS) описывает технические параметры производительности, которые отражают качество интернет-соединения. С другой стороны, качество опыта (QoE) широко используется для описания того, как пользователи воспринимают ту или иную услугу [3, с. 4]. В контексте данной работы пользователями являются учащиеся, выполняющие учебные задания. Эти два важных аспекта, связанных с качеством обслуживания в сетях и информационных системах, но они фокусируются на разных аспектах и оценивают качество с разных точек зрения.

**1. Качество обслуживания и качество опыта**

Quality of Service (QoS — Качество Обслуживания):

QoS представляет собой совокупность технологий и механизмов, которые используются для управления и гарантирования качества сетевого обслуживания. Основная цель QoS — предоставление определенных параметров сетевого трафика, таких как задержка (delay), задержка разброса (jitter), пропускная способность (bandwidth), и потеря пакетов (packet loss). Он фокусируется на технических аспектах сетевого обслуживания, таких как буферизация, приоритеты, ограничение пропускной способности и т. д. QoS часто используется в сетях для обеспечения передачи данных согласно заранее установленным стандартам и требованиям [4, с. 1229].

Quality of Experience (QoE — Качество Опыта):

QoE оценивает качество обслуживания с точки зрения конечного пользователя или клиента. Он учитывает

восприятие пользователя и его удовлетворение от использования приложений, услуг или сетей. QoE оценивает такие аспекты, как ясность звука в голосовых вызовах, четкость изображения в видеопотоке, отзывчивость веб-приложений и т. д. Оценка QoE часто проводится с использованием опросов пользователей, метрик восприятия и психофизиологических показателей.

Важно отметить, что QoS и QoE взаимосвязаны, но они не всегда совпадают. Высокое QoS может способствовать улучшению QoE, но это не гарантировано. Например, даже если сеть обеспечивает высокий QoS, пользователь все равно может иметь негативный опыт из-за других факторов, таких как неудовлетворительный дизайн приложения или проблемы с интерфейсом.

В общем, QoS ориентирован на технические аспекты сетевого обслуживания, тогда как QoE фокусируется на восприятии и удовлетворении конечных пользователей, и оба аспекта играют важную роль в обеспечении качества обслуживания в современных сетях и приложениях.

На рисунке 1 показано, как взаимосвязаны QoS и QoE. Как видите, слева — подготовка контента посредством кодирования и упаковки. Затем файлы передаются в инфраструктуру доставки для распространения, что измеряет качество обслуживания. Поступив на место просмотра, видео декодируется и просматривается на проигрывателе. Как показано на рисунке, QoE включает в себя полную сквозную работу, а QoS — это часть распределения, которая находится посередине.

В современном мире образования системы дистанционного обучения играют ключевую роль в обеспечении доступности и эффективности образовательных программ. Однако их успешная реализация и удовлетворительное обучение требуют учета нескольких важных аспектов, которые составляют основу данной системы. В данной работе мы сосредотачиваемся на трех главных

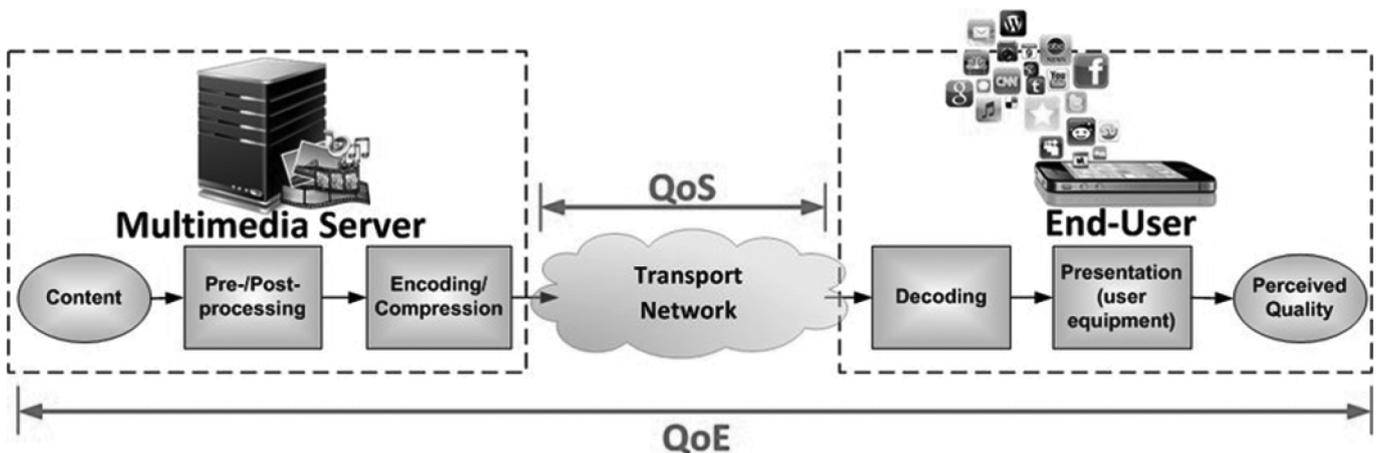


Рис. 1. Как взаимосвязаны QoE и QoS

факторах, которые определяют успех системы дистанционного обучения: человеческом факторе, техническом факторе и факторе взаимодействия между ними.

*Человеческий фактор:* Человеческий фактор олицетворяет роль преподавателей и студентов в контексте дистанционного обучения. Преподаватели должны обладать не только глубокими педагогическими знаниями, но и уметь эффективно использовать технические инструменты. Студенты, в свою очередь, должны быть активно вовлечены и готовы к самостоятельному обучению.

*Технический фактор:* Технический фактор включает в себя аппаратные и программные средства, а также сетевую инфраструктуру, необходимые для функционирования системы дистанционного обучения. От надежности и эффективности технических решений зависит качество обучения и удовлетворение пользователей.

*Фактор взаимодействия:* Фактор взаимодействия отражает сущность дистанционного обучения как среды, где важна коммуникация и взаимодействие между всеми участниками. Эффективное обучение требует активного обмена информацией, поддержки и коллаборации между преподавателями и студентами.

Отсутствие одного из этих факторов может привести к нарушению работы системы дистанционного обучения и ухудшению качества обучения. В дальнейшем мы подробно рассмотрим каждый из этих аспектов и их взаимосвязь, а также рассмотрим современные подходы и решения, направленные на оптимизацию каждого фактора в системах дистанционного обучения.

Простыми словами, человеческим фактором являются люди, которые задействованы в этой системе, то есть преподаватели, которые ведут лекции и семинары через эту систему, студенты, которые получают знание и выполняют задания, и сотрудники технической поддержки, которые обеспечивают правильную работу данной системы и готовы действовать при возникновении каких-либо проблем. Человеческий фактор также нужен для оценки работоспособности любого сервиса или товара, отзывы пользователей считаются самым надежным способом оценивать качества предлагаемого сервиса, в нашем случае пользователями являются студенты и преподаватели, которые общаются и взаимодействуют через систему дистанционного обучения, так что человеческий фактор считается основной разницей между QoS и QoE.

Второй не менее важный фактор в системе дистанционного обучения является техническим, на который определено наиболее особое внимание в данной диссертации, насколько он является средой, через которую

весь этот процесс происходит, в основном эта среда является компьютерной сетью, в качестве которой очень много параметров влияют, такие как качество обслуживания, качество опыта, приоритеты, очереди и т.п., выполняя которых можем обеспечивать гарантированную качественную передачу данных между сетевыми устройствами для улучшения процесса дистанционного обучения.

Фактор взаимодействия, в свою очередь, представляется алгоритмами взаимодействия как между вышеуказанными факторами, так и между компонентами каждого из них, то есть он определяет три вида взаимосвязи: человеческий-человеческий, это алгоритмы взаимосвязей между преподавателями, студентами и сотрудниками университета для обеспечения эффективного дистанционного обучения, человеческий-технический, это лучшие способы использования технических устройств и программ для достижения максимальной пользы от использования имущества данных технологий в дистанционном обучении, ну и технический-технический, это алгоритмы управления сетью, передачей данных и качеством обслуживания, о которых подробно и поговорим в данной главе.

Как мы видим, эти факторы сильно взаимосвязанные между собой, поэтому, и для максимальной эффективности процесса дистанционного обучения, надо их хорошо понимать, чтобы находить способы повышения их производительности.

## 2. Управление передачей данных для дистанционного обучения

Как мы упомянули раньше, обеспечение эффективной передачи данных в системах дистанционного обучения является ключевым аспектом, влияющим на качество образовательного процесса. Данный раздел посвящён разработке алгоритмов, направленных на повышение эффективности передачи данных, и представлен в двух частях. Первая часть фокусируется на использовании программно-конфигурируемых сетей (SDN), предоставляя удобное средство для реализации сложных алгоритмов благодаря централизованному управлению и программной настройке сетевых устройств. Вторая часть ориентирована на применение алгоритмов в традиционных сетях, которые остаются популярными в контексте менее сложных сценариев.

Выбор между традиционными и SDN-сетями зависит от конкретных потребностей организации и ее стратегии развития сетевой инфраструктуры для обеспечения высокого качества обслуживания, поэтому, и для лучшего понимания качества обслуживания в каждом из данных архитектур, проведено небольшое сравнение между ними [5]:

**Традиционные Сети:**

В плюсах можно выделить следующее:

- **Надежность:** Традиционные сети характеризуются высокой стабильностью и проверенными технологиями, что обеспечивает надежную передачу данных.
- **Простота Управления:** Управление и настройка сетевых устройств часто являются более простыми в традиционных сетях, что делает их более доступными для некоторых организаций.
- **Низкая Цена:** зачастую, внедрение и обслуживание традиционных сетей может быть более дешевым в сравнении с более новыми технологиями.

**Минусы:**

- **Ограниченная Гибкость:** традиционные сети могут быть менее гибкими при адаптации к изменяющимся требованиям, особенно в условиях динамичных образовательных сред.
- **Сложность Масштабирования:** при увеличении масштаба сети может возникнуть сложность в масштабировании и поддержании требуемой производительности.

**Программно-Конфигурируемые Сети (SDN):**

Программно-конфигурируемая сеть (SDN), развивающаяся парадигма в сети, выступает за разделение уровня данных и уровня управления, отделение логики управления сетью от базовых маршрутизаторов и коммутаторов, оставляя логически централизованную программу для управления поведением всей сети [6].

Плюсы выполнения качества обслуживания в данном виде сетей включают в себя следующее:

- **Гибкость и Программируемость:** SDN предоставляют централизованный контроль, что обеспечивает высокую гибкость и возможность программной настройки сети под конкретные потребности.
- **Динамичное Управление Трафиком:** В SDN легко реализовать алгоритмы управления трафиком,

что обеспечивает динамичное реагирование на изменения в сети.

- **Упрощенное Масштабирование:** Добавление и масштабирование ресурсов в SDN может быть более простым и эффективным.

**Минусы:**

- **Сложность Внедрения:** Внедрение и переход на SDN могут потребовать значительных инвестиций и изменений в сетевой инфраструктуре.
- **Возможные Проблемы Безопасности:** Централизованный контроль может создать точку уязвимости, требующую дополнительных мер безопасности.

**Итоговый сравнительный анализ:**

- **Гибкость и Управление:** SDN выигрывают в области гибкости и программируемости, что особенно важно при динамичных образовательных процессах.
- **Простота и Надежность:** Традиционные сети обычно проще во внедрении и остаются надежными, но менее гибкими.
- **Масштабируемость:** SDN предоставляют более простые решения для масштабирования при увеличении требований к сети.

В итоге выбор между традиционными и SDN зависит от конкретных потребностей и требований организации, осуществляющей дистанционное обучение, поэтому мы решили внедрять более сложных алгоритмов в SDN сетях, и более стандартные решения выполнили с помощью традиционных сетей.

Архитектурное различие между традиционной сетью и SDN очень хорошо представлено на следующей рисунке (Рис. 2) [7], там ясно показано, как управление (логически) централизованно регулируется, а уровень данных упрощается до простых элементов пересылки. Программируемые коммутаторы уровня данных могут быть реализованы аппаратно или программно, если они

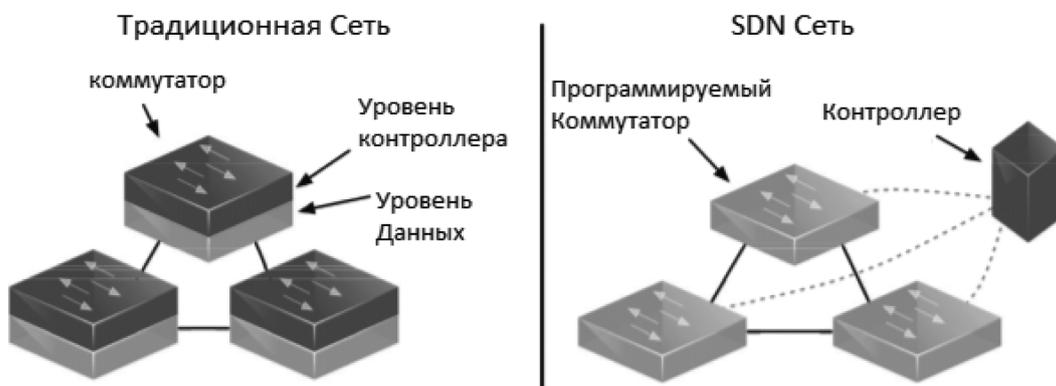


Рис. 2. Различие между традиционной сетью и SDN

поддерживают протокол OpenFlow для связи и настройки с контроллером.

### 3. Алгоритм управления качеством обслуживания в программно-конфигурируемых сетях

Системы передачи данных и коммуникации в современных компьютерных сетях требуют эффективно-го управления маршрутизацией для обеспечения оптимальной производительности. Одним из ключевых аспектов в этом контексте является выбор алгоритма поиска кратчайшего пути, который определяет оптимальные маршруты для передачи данных от отправителя к получателю, и который для нас будет основная база, на которой будет происходить модернизация и будут добавлены наши условия оптимизации.

Программно-конфигурируемая сеть (SDN), развивающаяся парадигма в сети, выступает за разделение уровня данных и уровня управления, отделение логики управления сетью от базовых маршрутизаторов и коммутаторов, оставляя логически централизованную программу для управления поведением всей сети [8, с. 20].

В математическом аппарате теории графов существует несколько алгоритмов, позволяющих строить минимальные пути во взвешенном ориентированном графе. Основными такими алгоритмами являются [9]: 1) Алгоритм Дейкстры. 2) Алгоритм Беллмана–Форда. 3) Алгоритм Флойда–Уоллешелла. Сравнивая и анализируя алгоритмы кратчайшего пути, мы видим, что алгоритм Дейкстры со сложностью  $O(n \log n + m)$  менее сложен, чем Беллмана–Форда  $O(nm)$  и Флойда–Уоршелла  $On^3$ , поэтому он был выбран для дальнейшей работы.

При маршрутизации потоков в сети следует учитывать пропускную способность каналов между узлами сети. Это накладывает свои требования на поиск кратчайшего пути. В данной работе на базе алгоритма Дейкстры разработан новый алгоритм, позволяющий определить кратчайший путь при условии соблюдения достаточной пропускной способности каналов.

Ниже приведены подробные шаги, используемые в нашем алгоритме для нахождения кратчайшего пути имеющий достаточную полосу пропускания от одной исходной вершины ко всем остальным вершинам данного графа.

1. Всем вершинам, за исключением первой, присваивается вес равный бесконечности, а первой вершине — 0;
2. Все вершины не выделены;
3. Первая вершина объявляется текущей;
4. Вес всех невыделенных вершин пересчитывается по формуле: вес невыделенной вершины есть минимальное число из старого веса данной вершины;

5. Суммы веса текущей вершины и веса ребра, соединяющего текущую вершину с невыделенной;
6. Среди невыделенных вершин ищется вершина с минимальным весом. Если таковая не найдена, то есть вес всех вершин равен бесконечности, то маршрут не существует. Следовательно, выход. Иначе, проверяется путь к этой вершине, достаточная ли в него полоса пропускная, если да, то текущей становится найденная вершина. Она же выделяется;
7. Если текущей вершиной оказывается конечная, то путь найден, и его вес есть вес конечной вершины;
8. Переход на шаг 4.

пока наш алгоритм направлен на пакеты, чувствительные к пропускной способности, мы добавим новый параметр и новое условие в основной алгоритм Дейкстры, который будет пропускной способностью, он не добавит никакой сложности к основному алгоритму, но будет сильно влиять и оптимизировать целевые потоки (чувствительные к пропускной способности).

Для эффективной передачи мультимедийного трафика при маршрутизации потоков в сети следует учитывать пропускную способность каналов между узлами. Это накладывает свои требования на поиск кратчайшего пути. В данном исследовании на основе алгоритма Дейкстры разработан новый алгоритм, позволяющий определить кратчайший путь при условии соблюдения достаточной пропускной способности каналов. На рисунке 3 приведена схема алгоритма разработанного алгоритма.

Когда

S: Текущий узел;

N: Соседний узел;

D: Длина связи;

P: Предыдущий узел;

bw: Текущая полоса пропускания;

MinBW: Минимальная удовлетворительная полоса пропускания.

Для каждого соседа N вершины S, кроме отмеченных как посещенные, рассмотрим новую длину пути, равную сумме значений текущей метки S и длины ребра D, соединяющего S с этим соседом. Если полученное значение длины меньше значения метки соседа, проверим полосу пропускания D (bw), если bw больше или равна минимально допустимой полосе пропускания (minBW), ребра D заменим значение метки полученным значением длины ( $N=S+D$ ), и предыдущим пунктом N становится S, то есть ( $N.P=S$ ). Рассмотрев всех соседей, пометим вершину S как посещенную и повторим шаг алгоритма.

Этот алгоритм отличается от Дейкстры, потому что он учитывает пропускную способность маршрутов, он не дает просто кратчайший путь, но он дает кратчайший путь с достаточной пропускной способностью, которая

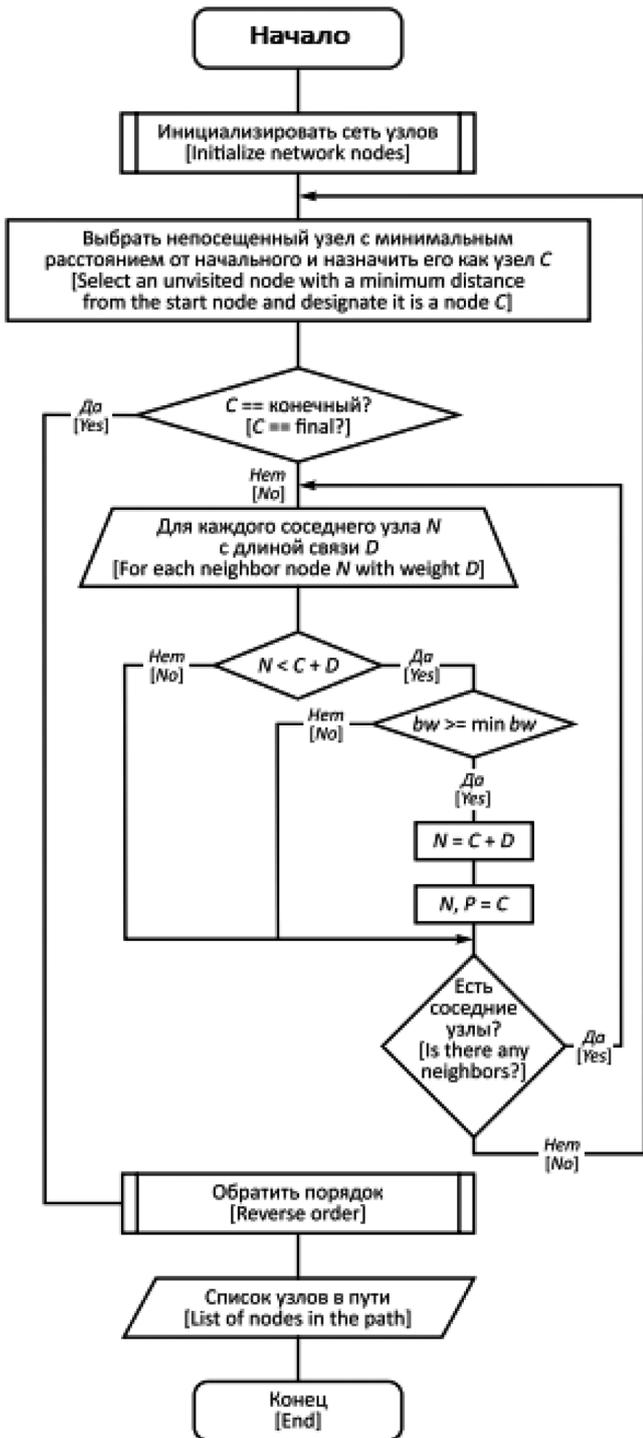


Рис. 3. Блок схема разработанного алгоритма

является оптимальной для потоков, чувствительных к пропускной способности. Таким образом модифицированный алгоритм Дейкстры дает возможность создавать трафик с минимальной задержкой при обеспечении заданной пропускной способности.

На следующем рисунке (Рис. 4) показано влияние нашего алгоритма на передачу данных критических и некритических потоков.

Как видно из графика, полоса пропускания критических потоков выше приемлемого значения, (Поток 3 = 8670 кб/с, Поток 4=9153 кб/с, Поток 8 = 8809 кб/с, Поток 10=8323 кб/с, поток 13=8113 кб/с) то есть (сред = 8614 кб/с).

И среднее полосы пропускания некритических потоков тоже неплохо выглядит, это значит, что влияние критических потоков на обычные стало намного меньше с нашим алгоритмом, чем с использованием Diffserv.

#### 4. Алгоритмы управления качеством обслуживания в традиционных сетях

В настоящее время дистанционное обучение становится все более популярным и востребованным благодаря своей удобности, гибкости и доступности. Однако для эффективного дистанционного обучения необходима надежная и высокопроизводительная сетевая инфраструктура, способная обеспечить качество обслуживания (QoS) для всех участников обучения. В этом контексте важно изучить и сравнить различные алгоритмы управления QoS, доступные в традиционных сетях, для определения, наиболее подходящего для дистанционного обучения.

Цель данного раздела состоит в том, чтобы подробно рассмотреть основные алгоритмы управления QoS, такие как «Первым пришел, первым ушел» FIFO (First In, First Out), «Очередь с приоритетами» PQ (Priority Queue), «Пользовательская очередь» CQ (Custom Queue), «Справедливая очередь» FQ (Fair Queueing) и «Справедливая очередь с весовыми коэффициентами» WFQ (Weighted Fair Queueing), и сравнить их характеристики, преимущества и недостатки. В результате сравнительного анализа будет определено, какой из этих алгоритмов более подходит для обеспечения качественного дистанционного обучения.

Дополнительно, мы рассмотрим научные работы, посвященные внедрению и использованию данных алгоритмов в сетевых средах, а также проведем анализ их эффективности и применимости для обеспечения высококачественного дистанционного обучения. Результаты нашего исследования могут быть важным вкладом в развитие современных образовательных технологий и помочь определить оптимальные стратегии управления качеством обслуживания в дистанционных образовательных средах.

— FIFO (First In, First Out) — это один из основных алгоритмов управления очередью в компьютерных сетях. Принцип его работы заключается в том, что пакеты данных обрабатываются и передаются в порядке их поступления: первым пришел, первым ушел. Другими словами, пакеты обрабаты-

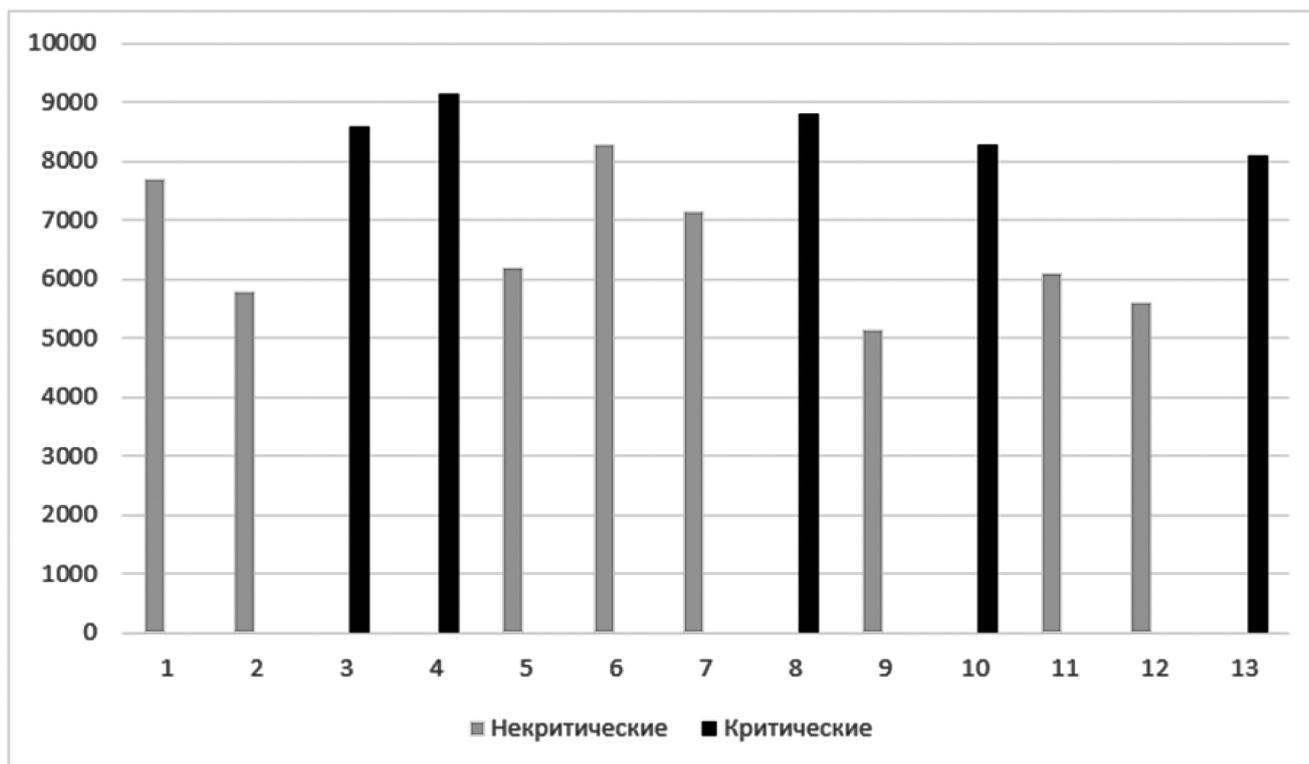


Рис. 4. Получены результаты с использованием алгоритма

ваются в том порядке, в котором они поступают в очередь.

- Очередь с приоритетами (Priority Queue, PQ) — это алгоритм управления очередью в компьютерных сетях, который обрабатывает пакеты данных с учетом их приоритета. Приоритетные пакеты имеют предпочтение перед обычными, и они обрабатываются и передаются в сети в первую очередь.
- Алгоритм Custom Queue (CQ), или Пользовательская очередь, представляет собой подход к управлению очередью в компьютерных сетях, который позволяет пользователям определять собственные параметры и правила обработки пакетов данных в очереди.
- Справедливая очередь (Fair Queueing, FQ) — это алгоритм управления очередью в компьютерных сетях, который обеспечивает более справедливое распределение пропускной способности между различными потоками данных. Основная идея заключается в том, чтобы предоставить каждому потоку равную долю пропускной способности в сети, чтобы избежать преимущества для некоторых потоков за счет других.
- Взвешенная справедливая очередь (Weighted Fair Queueing, WFQ) — это алгоритм управления очередью в компьютерных сетях, который распределяет пропускную способность между потоками данных, при этом каждому потоку назначается вес или приоритет. WFQ обеспечивает более гибкое управление трафиком по сравнению с обычной

справедливой очередью (FQ), поскольку позволяет администраторам сети устанавливать приоритеты для различных типов трафика.

В контексте современных исследований и практических применений, многие из этих алгоритмов уже были внедрены и исследованы другими учеными и специалистами. В связи с этим, наша работа переходит к более широкому сравнительному анализу, охватывающему результаты и выводы из ряда научных статей, посвященных данной тематике. Мы сосредоточимся на выявлении ключевых тенденций, сходств и различий в подходах к управлению качеством обслуживания в компьютерных сетях, основываясь на анализе литературы и научных исследований, данный анализ указан в таблице 1.

#### Вывод и рекомендации по данному анализу

Исходя из анализа данных статей, для дистанционного обучения рекомендуются следующие алгоритмы управления очередью:

##### Priority Queuing (PQ):

- Рекомендуемые сценарии использования: PQ особенно полезен для обеспечения высокого приоритета для трафика, который требует минимальных задержек и низкого джиттера, такого как голосовая связь в дистанционном обучении.
- Преимущества для дистанционного обучения: PQ обеспечивает предсказуемость и минимальные

Таблица 1.  
Основные моменты и рекомендации каждой статьи

Статья	Основные моменты	Рекомендации
[10]	<ul style="list-style-type: none"> <li>— FIFO не эффективен для обработки потоков данных, но подходит в качестве алгоритма для сравнения.</li> <li>— PQ разработан для высокоприоритетных потоков.</li> <li>— WFQ показал лучшие результаты в моделировании.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Использовать WFQ для контроля мультисервисного трафика.</li> <li>— FQ лучше всего подходит для сетей передачи с высокой вероятностью потери пакетов.</li> </ul>
[11]	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Использование различных алгоритмов управления очередями для различных приложений в реальном времени.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Приоритизировать алгоритмы в зависимости от требований приложений.</li> </ul>
[12]	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Сравнение эффекта FIFO, PQ и WFQ на QoS в сетях IoT.</li> <li>— PQ и WFQ показывают лучшие результаты для улучшения QoS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Использовать PQ и WFQ для улучшения QoS в сетях IoT.</li> </ul>
[13]	<ul style="list-style-type: none"> <li>— FIFO лучше для FTP, но менее эффективен для VoIP и видео.</li> <li>— WFQ хорош для видео, но PQ подходит для VoIP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Использовать PQ и WFQ для VoIP, а FIFO — для FTP.</li> </ul>
[14]	<ul style="list-style-type: none"> <li>— PQ и WFQ наиболее подходят для улучшения QoS VoIP.</li> <li>— Очереди PQ и WFQ эффективны, когда параметры QoS находятся в приемлемом диапазоне.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Использовать PQ и WFQ для улучшения QoS VoIP.</li> </ul>

задержки для критически важных данных, что существенно повышает качество звуковой передачи и улучшает восприятие лекций и общения между студентами и преподавателями.

- Рекомендации по применению: использовать PQ для обеспечения высокого приоритета голосовому трафику в сети дистанционного обучения, чтобы минимизировать задержки и обеспечить плавность коммуникации.

**Weighted Fair Queuing (WFQ):**

- Рекомендуемые сценарии использования: WFQ эффективно используется для обеспечения справедливого доступа к ресурсам сети для различных видов трафика в дистанционном обучении.
- Преимущества для дистанционного обучения: WFQ способствует балансировке нагрузки и предотвращает голодание ресурсов для определенных потоков данных. Это особенно важно в контексте дистанционного обучения, где одновременно передается разнообразный трафик, включая видео, аудио и данные.
- Рекомендации по применению: использовать WFQ для обеспечения справедливого доступа к ресурсам сети для всех типов трафика в дистан-

ционном обучении, что поможет предотвратить деградацию качества услуг и обеспечить более плавное и эффективное обучение.

В обоих случаях эти алгоритмы помогут оптимизировать качество обслуживания в сети дистанционного обучения, обеспечивая минимальные задержки и высокую пропускную способность для критически важных данных, таких как голосовая связь, и справедливый доступ к ресурсам для различных видов трафика.

**5. Алгоритм преподавания с минимальной сетевой нагрузкой**

В данном разделе представлена методика дистанционного обучения, которая призвана обеспечить максимальную эффективность процесса при минимальной требуемой скорости интернета. Одним из ключевых вызовов, выделенных в предшествующих работах в первой главе, были технические трудности, в частности скорость интернета и нагрузка на сеть. В предлагаемом методе мы стремимся решить эту проблему, интегрируя синхронные и асинхронные формы дистанционного обучения.

Для оптимизации процесса дистанционного обучения мы создали метод, который состоит из двух основных моментов: максимизации эффективности и минимизации сетевой нагрузки

Для повышения эффективности дистанционного обучения необходимо интегрировать некоторые способы и достичь балансировки между синхронным и асинхронным типами обучения, учитывая минимизацию сетевой нагрузки. Для начала мы рассмотрим синхронные и асинхронные формы обучения подробно, их характеристики и основные отличия между ними для правильной и эффективной разработки алгоритма.

*Асинхронное обучение*

Асинхронное обучение позволяет студентам учиться по собственному расписанию в течение определенного периода времени. Они могут получить доступ к лекциям, материалам для чтения, домашним заданиям и другим учебным материалам и пройти их в любое время в течение одной или двух недель.

**Преимущества асинхронного обучения:**

- Гибкость графика
- Индивидуально продиктованный темп
- Более демократичный
- Доступнее
- Больше времени с материалом

В нашем методе мы выполняли асинхронное обучение следующим образом:

- Просмотр различных видео по разным темам.
- Исследование данных тем подробно.
- Подготовка презентации по данным темам для выступления на семинарах.

#### Синхронное обучение

Синхронное обучение предполагает, что группа участников занимается обучением одновременно и в реальном времени, в том числе онлайн. Преимущества синхронного обучения:

- Взаимодействие между участниками.
- Обмен знаниями и опытом между участниками.
- Обратная связь в режиме реального времени.
- Обучение проходит по фиксированному графику.

Мы реализовали синхронное обучение следующим образом:

- Заранее планируются дискуссии, дебаты и игры.
- Обсуждения видео в лекциях.
- Презентации и доклады на семинарах.

На рисунке 5 показан еженедельный процесс обучения нашей методики.

Как видно из схемы, недельный цикл включает в себя 7 шагов. Прежде всего, преподаватели отправляют ссылки на необходимые видеоматериалы через WhatsApp за 3–4 дня до лекции. Затем каждый студент выбирает тему, начинает ее изучать, готовит материалы и записывает свои заметки и вопросы. Третий шаг — проведение лекций в режиме реального времени с использованием Microsoft Teams. Преподаватель задает вопросы по предыдущим видеоматериалам, чтобы определить уровень понимания студентов. Студенты также имеют право задавать вопросы и получать обратную связь в реальном

времени от преподавателя. После этого студентам предоставляется время для повторения материалов и подготовки презентаций. Последний этап — проведение презентаций на семинарах также в режиме реального времени на платформе MS Teams с последующей оценкой от преподавателя.

Учитывая, что в нашем университете учатся более 10000 иностранных студентов из 155 стран [15], стоит отметить, что у всех нет равных условий из-за скорости интернета и наличия необходимых материалов. Однако для нас важно, чтобы у каждого были равные возможности действовать и получать знания. Поэтому мы постарались минимизировать нагрузку на сеть в нашем методе, чтобы каждый мог получить максимум знаний, несмотря на различные условия.

Для этого мы проанализировали и рассчитали минимальные требования к сети для каждого этапа нашего метода (рисунок 6), и еще более убедились в этом через еженедельную обратную связь от студентов, чтобы удостовериться, что все проходит хорошо.

Самые высокие требования к скорости интернета в нашем случае — при просмотре видео, что представляет минимум 500 Кб/с [16], в то время как для поиска в Google, чтения статей и сбора информации для презентаций 100 Кб/с может быть достаточно [17].

Как мы упоминали ранее, наши синхронные встречи проводятся в Microsoft Teams. Для обсуждений и вопросов используется аудиовызов «один к одному», который требует минимум 30 Кб/с [18], в то время как выполнение презентации требует немного больше из-за совместного использования экрана, примерно 130 Кб/с.



Рис. 5. Пошаговый процесс данной методики

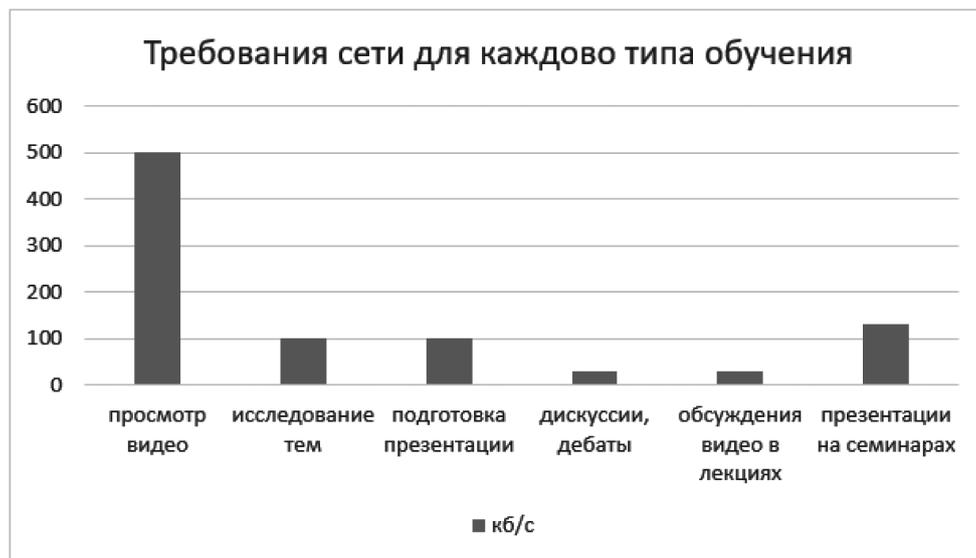


Рис. 6. Требования сети для каждого типа обучения

И, как видно на рисунке, 500 Кб/с, что считается очень малой скоростью, будет достаточно для выполнения нашего метода дистанционного обучения.

### Заключение

В данной работе были разработаны и реализованы алгоритмы, направленные на повышение эффективности передачи данных в системах дистанционного обучения.

В первом разделе были предложены алгоритмы управления качеством обслуживания как в программно-конфигурируемых, так и в традиционных сетях. Эти алгоритмы направлены на оптимизацию процесса передачи данных, управление трафиком и улучшение общего качества обслуживания для пользователей систем дистанционного обучения.

Далее был представлен анализ результатов выполнения разработанных алгоритмов, включая оценку их эффективности и влияния на характеристики сети передачи данных. Результаты показали, что алгоритмы при-

вели к улучшению качества обслуживания и снижению сетевой нагрузки, что является ключевым показателем эффективности в системах дистанционного обучения.

В заключительном разделе произведена оценка эффективности разработанных алгоритмов в контексте их применения в системах дистанционного обучения. Полученные результаты подтверждают, что алгоритмы способствуют повышению эффективности передачи данных и обеспечивают оптимальные условия для обучения удаленных участников, улучшая качество образовательного процесса в целом.

В результате анализа исследований можно сделать вывод о том, что для обеспечения эффективного дистанционного обучения необходим комплексный подход, включающий в себя как правильный выбор сетевых протоколов и инфраструктуры, так и разработку эффективных алгоритмов управления качеством обслуживания. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации сетевой инфраструктуры и повышения качества обслуживания в системах дистанционного обучения.

### ЛИТЕРАТУРА

- Guri-Rosenblit, Sarah. 'Distance education' and 'e-learning': Not the same thing. // Higher education 49-2005. — С. 467–493.
- Abdullah M.S., Toyacan M., & Anwar K. The cost readiness of implementing e-learning. // Custos E Agronegocio Online-2017., no. 2 — С. 156–175.
- Kist A.A., & Brodie L. Quality of service, quality of experience and online learning // IEEE / In 2012 Frontiers in Education Conference Proceedings-2012 — С. 1–6.
- Wang Z., & Crowcroft J. Quality-of-service routing for supporting multimedia applications. // IEEE / Journal on selected areas in communications-1996., 14(7), — С.1228–1234.
- SDN Architecture Overview [Электронный ресурс]: Open Network Foundation. URL: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn>.
- Chemeritskiy Eugene, and R. Smelansky. On QoS management in SDN by multipath routing. // 2014 International Science and Technology Conference (Modern Networking Technologies) (MoNeTeC). IEEE, 2014.
- Киричек Р.В. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ РЕСУРСОВ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ.2019. [Электронный ресурс] URL: [https://www.sut.ru/doci/nauka/Muhizi\\_S\\_diss.pdf](https://www.sut.ru/doci/nauka/Muhizi_S_diss.pdf).

8. Al Hakim Reda, Demidov A.S. Effective Data Transmission Algorithms for Distance Learning. Computational Nanotechnology. 2021. Vol. 8. No. 4. Pp. 19–27. (In Rus.) DOI: 10.33693/2313-223X-2021-8-4-19–27
9. Изотова Т.Ю. «Обзор алгоритмов поиска кратчайшего пути в графе.» Новые информационные технологии в автоматизированных системах 19 (2016).
10. Attar H., Khosravi M.R., Igorovich S.S., Georgievan K.N., & Alhihi M. Review and performance evaluation of FIFO, PQ, CQ, FQ, and WFQ algorithms in multimedia wireless sensor networks. // International Journal of Distributed Sensor Networks-2020, 16(6).
11. Islam M.Z., Islam M.S., Haque A.F., & Ahmed M.A comparative analysis of different real time applications over various queuing techniques. // IEEE. / 2012 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)-2012, — С. 1118–1123.
12. Tabassum M., Tikoicina K.M., & Huda E. Comparative analysis of queuing algorithms and QoS effects on the IoT networks traffic. // IEEE / In 2018 8th IEEE international conference on control system, computing and engineering (ICCSCE)-2018, — С. 88–92.
13. Mohit Kishorbhai Ajani, Yogesh Zambare. Effects of Various Queuing Algorithms for Network Services, // International Journal of Engineering Development and Research (IJEDR)-2014, 2(1), — С. 87–91.
14. Mohammed H.A., Ali A.H., & Mohammed H.J. (2013). The effects of different queuing algorithms within the router on QoS VoIP application using OPNET-2013, — С. 1302.1642.
15. Российский университет дружбы народов. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.rudn.ru/about>
16. System requirements to watch YouTube videos [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://support.google.com/youtube/answer/78358?hl=en>
17. What is a good internet speed? [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.highspeedinternet.com/how-much-internet-speed-do-i-need>
18. Microsoft Teams requirements [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-365/enterprise/requirements-network#microsoft-teams-requirements>.

---

© Аль Хаки́м Ри́да (Al\_khakim\_r@pfur.ru); Ковалева Екатерина Александровна (kovaleva\_ea@pfur.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ТРАНСФОРМАЦИЯ B2B СЕКТОРА С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ПОТЕНЦИАЛ И РИСКИ

## TRANSFORMATION OF THE B2B SECTOR USING GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE: POTENTIAL AND RISKS

**I. Bukhtueva**  
**I. Rubin**  
**E. Mozharovsky**  
**A. Bobunov**  
**A. Yakovishin**

*Summary.* The article explores the role of generative artificial intelligence (GenAI) technologies in the B2B sector, emphasizing their ability to radically transform traditional business processes and stimulate innovation. The study examines how GenAI contributes to enhancing efficiency, security, and user experience, providing companies with new tools for data management and customer relationships. Special attention is given to the impact of GenAI on the automation of operational processes, reducing the time for development and testing in software development, as well as improving decision-making and resource optimization. Practical examples include the use of GenAI in customer relationship management systems to predict needs and automate marketing campaigns, as well as in logistics to optimize inventory levels and delivery accuracy. On the other hand, the authors of the article note the risks associated with the implementation of GenAI, including issues of data security and privacy, ethical dilemmas, and the potential for creating bias in algorithms. The importance of developing comprehensive risk management strategies and active engagement with employees to ensure smooth integration of new technologies into work processes is emphasized. In conclusion, the article underscores that successful integration of GenAI can significantly enhance productivity and strengthen the market positions of companies in the B2B sector but requires careful consideration of all potential consequences to ensure sustainable development and maximize benefits for both companies and society.

*Keywords:* Generative Artificial Intelligence (GenAI), B2B technologies, Business innovation, Business process automation, Operational efficiency optimization, Data management, Information security, Digital transformation, Risk management, Ethical aspects of AI use.

**Бухтуева Ирина Андреевна**

Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова  
bukhtueva.irina@rambler.ru

**Рубин Иван Максимович**

Национальный исследовательский университет ИТМО,  
г. Санкт-Петербург

**Можаровский Евгений Александрович**

Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова

**Бобунов Анатолий Юрьевич**

Московский финансово-промышленный  
университет «Синергия»

**Яковишин Андрей Дмитриевич**

Камчатский государственный технический  
университет, г. Петропавловск-Камчатский

*Аннотация.* В статье рассматривается роль технологий генеративного искусственного интеллекта (generative artificial intelligence, GenAI) в сфере B2B, подчеркивая их способность радикально преобразовывать традиционные бизнес-процессы и стимулировать инновационную деятельность. Исследование рассматривает, как GenAI способствует повышению эффективности, безопасности и пользовательского опыта, предоставляя компаниям новые инструменты для управления данными и клиентскими взаимоотношениями. Особое внимание уделяется влиянию GenAI на автоматизацию операционных процессов, сокращение времени разработки и тестирования в области разработки программного обеспечения, а также на улучшение принятия решений и оптимизацию ресурсов. Примеры из практики включают использование GenAI в системах управления отношениями с клиентами для прогнозирования потребностей и автоматизации маркетинговых кампаний, а также в логистике для оптимизации складских запасов и точности доставки. С другой стороны, авторы статьи отмечают риски, связанные с внедрением GenAI, включая вопросы безопасности и конфиденциальности данных, этические дилеммы и потенциал для создания предвзятости в алгоритмах. Акцентируется важность разработки комплексных стратегий управления рисками и активного взаимодействия с сотрудниками для обеспечения гладкой интеграции новых технологий в рабочие процессы. В заключение статья подчеркивает, что успешная интеграция GenAI может существенно повысить производительность и укрепить рыночные позиции компаний в B2B секторе, но требует внимательного учета всех возможных последствий для обеспечения устойчивого развития и извлечения максимальной пользы как для компаний, так и для общества в целом.

*Ключевые слова:* GenAI, B2B технологии, инновации в бизнесе, автоматизация бизнес-процессов, оптимизация операционной деятельности, управление данными, цифровая трансформация, управление рисками, использование ИИ.

## Введение

**В** настоящее время наблюдается значительный рост интереса к технологиям генеративного искусственного интеллекта (generative artificial intelligence, GenAI) в сфере программного обеспечения B2B (business-to-business — бизнес для бизнеса). Это связано с возможностью этих технологий трансформировать традиционные бизнес-процессы, улучшая эффективность и открывая новые пути для инноваций. В частности, это актуально в таких областях, как информационная безопасность, разработка мобильных приложений, автоматизация бизнес-процессов и цифровая трансформация, они демонстрируют свой потенциал, улучшая качество предоставляемых услуг и продуктов.

Ожидается, что рынок GenAI продолжит свое динамичное развитие в различных отраслях. По прогнозам Bloomberg Intelligence [1], данный рынок достигнет 1,3 трлн долларов в течение следующего десятилетия, а уже в 2022 году его объем составил 40 млрд долларов (рис. 1). GenAI находит применение в сферах от банковского дела до здравоохранения, уменьшая необходимость в личном контроле процессов сотрудниками компаний. Основные применяемые технологии включают модели генерации текста и изображений, которые адаптируются и генерируют данные, близкие к исходным.

Особенно значимым является влияние технологий на сферу информационной безопасности. Современные методы на основе GenAI укрепляют системы обнаружения и реагирования на угрозы, обеспечивая автоматизацию сбора и анализа данных о безопасности. Прогноз MarketsandMarkets [2] отражает перспективу роста рынка информационной безопасности до 366 миллиардов долларов к 2028 году (на 13 % больше, чем в 2021 году).

Кроме того, применение GenAI также переосмысливает процесс разработки мобильных приложений. Эти технологии позволяют сократить время разработки и тестирования, при этом обеспечивая глубокую персонализацию контента и интерфейсов [3]. Это способствует созданию новых методов взаимодействия с пользователями, что критически важно в условиях возрастающей конкуренции на рынке мобильных технологий.

Цифровизация бизнес-процессов с использованием GenAI заслуживает особого внимания. Согласно [4], к 2025 году более 50 % ведущих мировых компаний начнут использовать GenAI для оптимизации операционной деятельности. Это отражает общий тренд на ускорение цифровой трансформации, при котором компании ищут способы интеграции новейших технологических решений для улучшения управления данными и взаимодействия с клиентами.

Таким образом, внедрение GenAI в B2B-сектор открывает широкие возможности для повышения производительности, уровня безопасности и оптимизации пользовательского опыта. Эти изменения способны существенно повлиять на рыночные позиции компаний, делая инвестиции такие технологии не просто желательными, но и стратегически важными для долгосрочного развития и поддержания конкурентоспособности в условиях цифровой экономики.

## Основные результаты

Известно, что B2B сотрудничество включает в себя все виды продуктов и услуг, в том числе сырье, компоненты, производственное оборудование, консалтинговые услуги, программное обеспечение и другое [5]. Важной особенностью B2B-сегмента является то, что

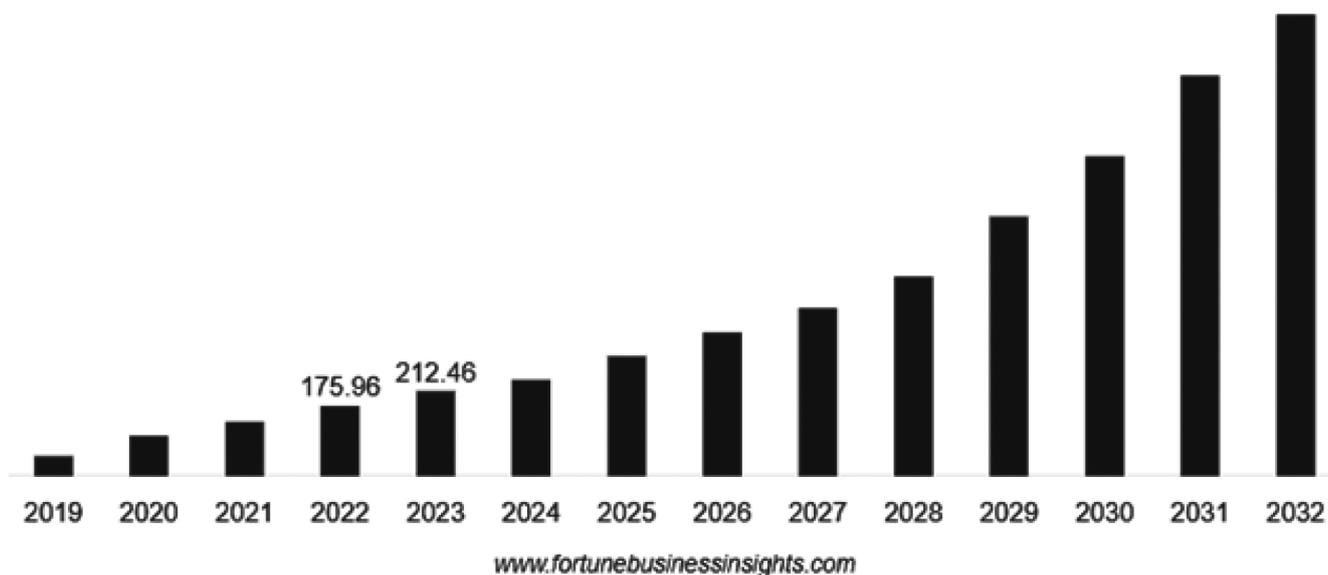


Рис. 1. Объем рынка GenAI в Северной Америке, 2019–2032 годы (млрд долларов США) [1]

процесс продаж в этом сегменте обычно более сложный и длительный, часто требует индивидуализированного подхода к каждому клиенту.

С развитием цифровых технологий, включая внедрение GenAI, сфера B2B переживает значительные изменения. Эти инновации приносят автоматизацию в отношении с клиентами, управление данными и операционные процессы, что позволяет компаниям достигать более высокой операционной эффективности и лучше понимать потребности заказчиков. Например, использование искусственного интеллекта (ИИ) в системах управления отношениями с клиентами позволяет анализировать большие объемы данных для предсказания клиентских потребностей и автоматизации маркетинговых кампаний [6].

Яркие примеры успешного применения ИИ может продемонстрировать сфера логистики и управления цепочками поставок, где аналитические модели GenAI помогают предприятиям оптимизировать складские запасы и улучшать точность доставки. По данным McKinsey & Company [7], компании, рано начавшие применять ИИ для управления цепочками поставок, смогли снизить логистические затраты до 15 %, объем хранения запасов до 32 % и улучшить уровень обслуживания бизнес-пар-

тнеров и клиентов до 64–68 % по сравнению периодом времени до внедрения ИИ.

В финансовой сфере технологии ИИ используются для управления рисками и обнаружения мошенничества. Анализируя транзакционные данные в реальном времени и выявляя аномалии, технологии существенно снижают финансовые потери для банков и их клиентов. Например, PayPal, применяя методы ИИ и машинного обучения (МО), смогла почти вдвое сократить свои потери от мошенничества и связанных с ним финансовых преступлений с 2019 по 2022 год, при этом годовой объем платежей удвоился с 712 млрд до 1,36 трлн долларов США [8].

**Технологии GenAI** описывают подкласс алгоритмов МО, способных генерировать новый контент, такой как тексты, изображения, музыка и даже код, имитирующий человеческое творчество или ответы. Отличительной особенностью этих алгоритмов является способность не только анализировать данные, но и создавать новые, что существенно расширяет возможности применения ИИ. Среди ключевых технологий можно выделить несколько моделей, представленных в таблице 1, которые лежат в основе многих современных разработок в области обработки естественного языка.

Таблица 1.

Ключевые технологии GenAI

Название	Описание	Примеры применения
Генеративно-состязательные сети (GAN)	Специализированная архитектура нейронных сетей, которая состоит из двух нейронных сетей: генератора, который создает данные, и дискриминатора, который оценивает их на подлинность. Данная технология позволяет создавать высококачественные, реалистичные изображения и видео, которые трудно отличить от настоящих.	Создание визуального контента для рекламных кампаний, разработка реалистичных прототипов продуктов.
Трансформеры	Модели, основанные на механизмах внимания, что позволяет модели фокусироваться на различных частях входных данных для лучшего понимания контекста. Эффективны в задачах обработки естественного языка.	Автоматизация создания текстовых контентов, улучшение клиентской поддержки через автоматические ответы.
Вариационные автоэнкодеры (VAE)	Тип нейронных сетей, используемых для генерации новых данных путем изучения и анализа вероятностных распределений входных данных. VAE применяются для создания новых, но статистически схожих образцов данных.	Дизайн новых продуктов, создание вариантов пользовательских интерфейсов на основе существующих предпочтений.
Авторегрессионные модели	Данные модели представляют собой подкласс МО, который использует предыдущие данные в качестве входных для генерации следующих значений в последовательности. Эти модели идеально подходят для задач, где необходимо создавать данные с сильной временной или пространственной связью.	Генерация последовательных видеоклипов, автоматическое создание музыкальных композиций.
Модели на основе правил	Данные системы используют заранее определенные алгоритмические инструкции для вывода заключений из входных данных. Хотя они менее гибки, чем модели МО, их преимущество в том, что они предоставляют предсказуемые и интерпретируемые результаты.	Автоматизация рутинных операций, таких как настройка программного обеспечения или обработка стандартных запросов.
LSTM (Long Short-Term Memory)	LSTM — это разновидность рекуррентных нейронных сетей, специально разработанных для анализа и прогнозирования данных во временных рядах благодаря своей способности сохранять информацию на длительные периоды времени. Это делает их особенно полезными в динамичных отраслях.	Прогнозирование финансовых рынков, оптимизация управления запасами и цепочек поставок.

Примечание: Составлено автором на основе [9-14]

Ключевыми характеристиками GenAI являются способность к обучению на больших объемах данных, генерация выходных данных, неотличимых от созданных человеком, и возможность адаптации к различным условиям использования без необходимости явного перепрограммирования. Примеры применения этих технологий включают создание реалистичных виртуальных ассистентов, разработку уникального контента и многие другие области, требующие новаторского подхода к обработке информации.

Основное воздействие GenAI на бизнес-процессы в области разработки мобильных приложений заключается в автоматизации рутинных задач, улучшении пользовательского опыта и сокращении времени разработки, что, в свою очередь, способствует ускорению вывода продуктов на рынок и увеличению их конкурентоспособности.

### Современные кейсы использования GenAI в B2B

**Автомобилестроение и производство.** Одним из примеров успешного применения GenAI является использование GAN автомобильным производителем Tesla. Tesla применяет GAN для создания реалистичных изображений новых моделей автомобилей, которые используются в маркетинговых кампаниях еще до того, как прототипы будут физически собраны [15]. Это позволяет сократить время и затраты на маркетинг, а также ускорить сбор обратной связи от потребителей. Также, согласно исследованию McKinsey Global Institute [16], применение GenAI может увеличить прибыльность предприятий на 20–25 % благодаря оптимизации процессов и сокращению операционных издержек. Например, в сфере производства GenAI используется для оптимизации цепочек поставок и управления запасами, что позволяет предприятиям сократить издержки на складирование и логистику примерно на 30 %, как отмечается в аналитическом отчете компании Deloitte [17].

**Финансовый сектор.** Другой пример касается использования трансформеров, типов нейронных сетей, которые применяют механизм самовнимания для эффективной обработки и анализа текста, в финансовом секторе. Крупные банки, например Сбер, внедряют эти технологии для автоматизации процессов обработки клиентских запросов и создания персонализированных финансовых отчетов. Это не только улучшает клиентский сервис, но и значительно повышает операционную эффективность, сокращая время обработки запросов до 40 %, что приводит к экономии тысяч рабочих часов ежегодно [18, 19].

Также, GenAI способствует повышению точности финансовых прогнозов и анализа рыночных тенденций, что критически важно для инвестиционных стратегий

и управления рисками. Внедрение подобных систем крупным банком в России позволило сократить ошибки в кредитном скоринге на 37 %, что значительно уменьшило долю просроченных кредитов и увеличило общую рентабельность портфеля [20].

**Информационная безопасность.** Кроме того, технологии GenAI применяются для повышения эффективности систем обнаружения угроз информационной безопасности [21]. Например, Darktrace использует GAN для моделирования потенциальных угроз, что позволяет реагировать на кибератаки в реальном времени. В 2022 году система ИИ Darktrace обнаружила и предотвратила более 30 000 серьезных угроз, сократив время на их обнаружение до 98 % [21].

**Ритейл.** Кроме того, GenAI находит применение в улучшении клиентского опыта. Компании в секторе ритейла используют эти технологии для анализа покупательского поведения и предоставления персонализированных предложений, что приводит к увеличению продаж и повышению общей удовлетворенности клиентов. Исследование рынка розничной торговли в США показало [22], что ритейлеры, внедрившие решения на базе GenAI, отметили рост продаж на 10 % благодаря более точному ценообразованию и управлению ассортиментом.

**Разработка ПО.** Также, применение технологий GenAI значительно улучшает качество разработки приложений, так как ИИ может предсказывать потенциальные ошибки в коде или дизайне на ранних этапах разработки. Компания Google использует данную технологию для анализа и оптимизации интерфейсов своих приложений, что повышает удобство и функциональность продуктов. Подобные системы позволяют уменьшить количество ошибок в программном продукте до 40 %, что не только улучшает пользовательский опыт, но и снижает затраты на поддержку и обновление приложений [23]. В России компания Яндекс активно применяет GenAI для разработки и адаптации своих мобильных приложений, что уже помогло Яндексу увеличить активность пользователей более чем на 20 % благодаря более точной персонализации контента [24].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что GenAI используется для повышения эффективности различных процессов и улучшения операционных показателей, что может быть сведено к четырем основным направлениям: повышение эффективности, оптимизация процессов, улучшение клиентского опыта и повышение качества разработки приложений.

### Аспекты применения

Применение GenAI в бизнес-процессах несет с собой не только перспективы улучшения операционной

эффективности и инноваций, но и определенные риски. Среди ключевых выделяются вопросы безопасности данных, этические соображения, потенциал для создания предвзятости в алгоритмах, а также трудности, связанные с управлением изменениями в трудовых ресурсах [25].

Одним из основных рисков, связанных с использованием GenAI, является **безопасность и конфиденциальность данных**. Системы часто требуют доступа к большим объемам данных для обучения и функционирования, что повышает риск утечек чувствительной информации. В исследовании [26] было выявлено, что модели МО могут быть подвергнуты атакам, позволяющим получать персональные данные из баз данных моделей. Это особенно актуально для секторов, где обрабатывается большое количество личной информации, таких как финансовые услуги или здравоохранение.

Этические риски также являются значимым аспектом использования GenAI. Вопросы предвзятости и дискриминации в алгоритмах могут приводить к несправедливым исходам, особенно в таких областях, как кредитование или найм на работу. Например, система найма Amazon, обученная на данных, содержащих гендерные или этнические предвзятости, начала дублировать эти предвзятости, предлагая кандидатов на основе стереотипов, а не объективных метрик [27].

С точки зрения управления изменениями, внедрение GenAI может привести к **сокращению рабочих мест** или изменению характера труда, что требует внимательного подхода к переподготовке и переориентации сотрудников. Внедрение автоматизированных систем поддержки клиентов, например, может уменьшить потребность в человеческом взаимодействии в таких сферах, как колл-центры и службы поддержки, что вызывает необходимость в переобучении сотрудников для работы в новых условиях.

**Технические риски**, связанные с недостаточной зрелостью технологии или её неправильной интеграцией, также могут привести к сбоям в работе критически важных систем. Эти риски требуют от компаний разработки комплексных стратегий управления, включая усиление защиты данных, внедрение принципов этичного использования ИИ и активное взаимодействие с сотрудниками

для обеспечения гладкой интеграции новых технологий в рабочие процессы. Стоит отметить, что внедрение GenAI требует **значительных начальных инвестиций и квалифицированных специалистов** для разработки и поддержки соответствующих систем. Однако долгосрочные перспективы и возможные преимущества для бизнеса, как правило, перевешивают начальные затраты, предоставляя компаниям возможность значительно улучшить свои операционные показатели и укрепить конкурентные позиции.

### Заключение

Анализ влияния технологий GenAI на сферу B2B демонстрирует их потенциал для радикального преобразования традиционных бизнес-процессов, повышения эффективности и стимулирования инноваций. Несмотря на значительные возможности, которые открывает применение этих технологий, важно также осознавать и анализировать риски, чтобы минимизировать потенциальные негативные последствия для бизнеса и общества.

Предприятия, которые успешно интегрируют новейшие технологии в свои операционные процессы и стратегии управления данными, часто становятся лидерами в своих отраслях, демонстрируя способность к инновациям и адаптации к изменяющимся условиям рынка. Для поддержания этого лидерства и минимизации рисков необходима разработка комплексных подходов к обеспечению безопасности, подготовка и переподготовка кадров, а также постоянное взаимодействие с заинтересованными сторонами для управления социальными и этическими аспектами использования GenAI.

Таким образом, GenAI представляет собой мощный инструмент, способный трансформировать сектор B2B. Однако его внедрение должно проходить с учетом всех возможных последствий, чтобы обеспечить устойчивое развитие и извлечение максимальной пользы как для компаний, так и для общества в целом. Компании должны тщательно оценивать и управлять сопутствующими рисками, включая обеспечение безопасности данных, предотвращение предвзятости, управление изменениями в трудовых ресурсах и минимизацию технических рисков, что в итоге способствует успешной интеграции GenAI в бизнес-процессы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Artificial intelligence (AI) market size to rise from \$621.19 billion in 2024 to \$2,740.46 billion by 2032, at a CAGR of 20.4% // FORTUNE BUSINESS INSIGHTS URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/artificial-intelligence-market-100114> (дата обращения: 17.05.2024).
2. Artificial Intelligence in Cybersecurity Market worth \$60.6 billion by 2028 // MarketsandMarkets URL: <https://www.prnewswire.co.uk/news-releases/artificial-intelligence-in-cybersecurity-market-worth-60-6-billion-by-2028---exclusive-report-by-marketsandmarkets-302020339.html> (дата обращения: 17.05.2024).
3. Бойко С.В. Использование искусственного интеллекта для персонализации предложений в оптовой торговле обувью // Universum: экономика и юриспруденция. 2024. №3(113). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-dlya-personalizatsii-predlozheniy-v-optovoy-torgovle-obuvyuu> (дата обращения: 01.04.2024).

4. Бухтуева И.А., Хатьянов С.А. Будущее работы в сфере продаж B2B: анализ влияния генai на роли и навыки торгового персонала // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2024. №2/2024.
5. Бухтуева И.А. Этические последствия внедрения генai при разработке программного обеспечения для B2B // Дневник науки. 2024. №4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dnevniknauki.ru/images/publications/2024/4/technics/Bukhtueva.pdf>
6. Козлова М.Д., Огарков А.И., Кузнецов И.А., Заломский А.С., Рубин И.М. Влияние цифровизации на повышение операционной эффективности медицинского бизнеса: тенденции и примеры // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2024. №5(3). С. 250–257.
7. Succeeding in the AI supply-chain revolution, 2021 // McKinsey & Company URL: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/metals%20and%20mining/our%20insights/succeeding%20in%20the%20ai%20supply%20chain%20revolution/succeeding-in-the-ai-supply-chain-revolution.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.mckinsey.com%2F~%2Fmedia%2Fmckinsey%2Findustries%2Fmetals%2520and%2520mining%2Four%2520insights%2Fsucceeding%2520in%2520the%2520ai%2520supply%2520chain%2520revolution%2Fsucceeding> (дата обращения: 17.05.2024).
8. 2022 Global Impact Report // PayPal URL: [https://s202.q4cdn.com/805890769/files/doc\\_downloads/2023/05/2022-Global-Impact-Report\\_FINAL-73.pdf](https://s202.q4cdn.com/805890769/files/doc_downloads/2023/05/2022-Global-Impact-Report_FINAL-73.pdf) (дата обращения: 17.05.2024).
9. Creswell A., et al. Generative adversarial networks: An overview // IEEE signal processing magazine. 2018. Т. 35. №. 1. С. 53–65.
10. Stepanov M. The application of machine learning for optimizing maintenance processes and energy management of electric drives // Cold Science. №2/2024. P.22–30.
11. Grepan V. Theoretical and practical foundations of smart contract validation // Innovacionnaya nauka. 2024. №3-2/2024. p. 24–28
12. Mitrou I.N. Generative Artificial Intelligence: Models, Benefits, Dangers, and Detection of AI-Generated Text on Specialized Domains. 2024.
13. Liu Y., Browne W.N., Xue B. Visualizations for rule-based machine learning // Natural Computing. 2022. Т. 21. №. 2. С. 243–264.
14. Bobunov A. Development of test automation methodologies in the financial sector: a comparative analysis of approaches in the USA, Europe, and Asia // Cold Science. №2/2024. P. 61–70.
15. How Generative AI is Shaping Automotive Industry // Analytics Insight URL: <https://www.analyticsinsight.net/generative-ai/how-generative-ai-is-shaping-automotive-industry> (дата обращения: 22.05.2024).
16. The economic potential of generative AI: The next productivity frontier // McKinsey Digital URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier#/> (дата обращения: 22.05.2024).
17. 2023 manufacturing industry outlook // Deloitte URL: [https://www.polk.edu/wp-content/uploads/Deloitte\\_us-2023-outlook-manufacturing.pdf](https://www.polk.edu/wp-content/uploads/Deloitte_us-2023-outlook-manufacturing.pdf) (дата обращения: 28.05.2024).
18. Reimagining customer engagement for the AI bank of the future // McKinsey & Company URL: <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/reimagining-customer-engagement-for-the-ai-bank-of-the-future> (дата обращения: 22.05.2024).
19. Mussin Zh. The role of financial consulting in optimizing logistics operations // International Journal of Humanities and Natural Sciences. Vol. 3-2(90). 2024. С. 112–116
20. Pimentel E. Digital transformation: how the implementation of artificial intelligence can improve credit scoring models // Journal of Economics, Finance and Administrative Science. 2021. Vol. 26. No. 52. P. 203–220.
21. Исрафилов А., Дроздов И.С., Письменский Д.А. Анализ угроз перехвата трафика и эффективные методы защиты // Дневник науки. 2024. №4.
22. Макушин М. Искусственный интеллект: проблемы и перспективы развития // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2020. №. 9. С. 62–71.
23. Leveraging AI for predictive maintenance in software // MoldStud URL: <https://moldstud.com/articles/p-leveraging-ai-for-predictive-maintenance-in-software> (дата обращения: 28.05.2024).
24. Sangamithra B., Manjunath Swamy B.E., Sunil Kumar M. Personalized Ranking Mechanism Using Yandex Dataset on Machine Learning Approaches // Proceedings of the International Conference on Cognitive and Intelligent Computing: ICCIC 2021. Vol. 1. 2022. С. 629–639.
25. Dhake S.P., et al. Impacts and Implications of Generative AI and Large Language Models: Redefining Banking Sector // Journal of Informatics Education and Research. 2024. Т. 4. №. 2.
26. Belkadi L., Jasserand C. From algorithmic destruction to algorithmic imprint: Generative ai and privacy risks linked to potential traces of personal data in trained models // ICML Workshop on Generative AI+ Law. 2023.
27. Insight — Amazon scraps secret AI recruiting tool that showed bias against women // Reuters URL: <https://www.reuters.com/article/us-amazon-com-jobs-automation-insight/amazon-scraps-secret-ai-recruiting-tool-that-showed-bias-against-women-idUSKCN1MK08G/> (дата обращения: 28.05.2024).

---

© Бухтуева Ирина Андреевна (bukhtueva.irina@rambler.ru); Рубин Иван Максимович; Можаровский Евгений Александрович;  
Бобунов Анатолий Юрьевич; Яковишин Андрей Дмитриевич  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВ В ЗАДАЧАХ ЛОГИСТИКИ

**Гончаров Константин Александрович**

аспирант, ФГБОУВО «Финансовый Университет  
при Правительстве Российской Федерации»  
goncharovkostya.1997@gmail.com

## MULTICRITERIA ANALYSIS OF ALTERNATIVES IN LOGISTICS PROBLEMS

**K. Goncharov**

*Summary.* Modern experience has shown many times that the implementation of various types of information systems for automated information processing and calculations can significantly increase the competitive advantage of an organization. Modern software and computing tools can work with huge amounts of information and performing complex and resource-intensive calculations in a matter of seconds. However, as a rule, these software systems operate according to a data processing model or a mathematical model. Accordingly, the task of developing a methodology for reducing problems arising in the everyday sphere to mathematical problems becomes urgent. This article presents an analysis of the problems solved in such an area of the company's life as logistics.

The introduction of a methodology for formalizing logistics tasks in the terminology of multi-criteria analysis of alternatives tasks creates the prerequisites for the introduction of new automated software tools in small, medium, and large businesses.

*Keywords:* analysis of alternatives, criterion, logistics, supplier choose, ELECTRE.

*Аннотация.* Современный опыт много раз показал, что внедрение различного рода информационных систем автоматизированной обработки информации и расчетов способно значительно повысить конкурентное преимущество организации. Современные программно-вычислительные средства способны работать с огромным количеством информации и производить сложнейшие и ресурс затратные расчеты за считанные секунды. Однако, как правило данные программные комплексы работают согласно модели обработки данных или математической модели. Соответственно, становится актуальной задача разработки методологии сведения задач, возникающих в бытовой сфере, к математическим задачам. В данной статье представлен анализ задач, решаемых в такой сфере жизнедеятельности компании, как логистика.

Внедрение методологии формализации задач логистики в терминологию задач многокритериального анализа альтернатив создает предпосылки внедрения новых автоматизированных программных средств в малый, средний и крупный бизнес.

*Ключевые слова:* анализ альтернатив, критерий, логистика, выбор поставщика, ELECTRE.

### Введение

В современных динамично изменяющихся рыночных условиях компании вынуждены постоянно искать новые способы развития и удержания текущих позиций в конкурентной среде. На сегодняшний день руководители малого, среднего и крупного бизнеса видят способ развития организации во внедрении новейших технологий автоматизированной обработки информации и проведения математических расчетов. Необходимость совершенствовать бизнес-процессы не обошла и такую сферу деятельности, как логистика. Крупные компании постоянно сталкиваются с проблемой поиска наиболее эффективного способа организации перевозок, способного максимизировать прибыль и достичь минимальных затрат. В то же самое время многие математические методы находят свое применение в новых сферах жизнедеятельности. Одним из таких математических методов является многокритериальный анализ альтернатив. Семейство данных методов хорошо себя зарекомендовало в автоматизированных системах поддержки принятия решений, которые способны математически обосновать преимущества одного решения над

всеми остальными возможными. Таким образом, становятся очевидными преимущества сведения логистических задач к задачам многокритериального анализа альтернатив: решение задачи может быть автоматизировано существующим на рынке программным обеспечением и выбранное решение может быть математически обосновано.

Целью данной статьи является описание методики применения математических методов многокритериального анализа альтернатив в задачах логистики.

Задачами данной исследовательской работы являются:

- Анализ прикладной предметной области
- Анализ методов многокритериального анализа альтернатив
- Решение прикладной логистической задачи методами многокритериального анализа альтернатив

Данная научная статья предназначена для специалистов в области логистики, аналитиков, менеджеров и исследователей, стремящихся углубить свои знания

в области многокритериального анализа и расширить инструментарий для оптимизации логистических процессов.

### Задачи логистики, существующие методы решения логистических задач

Итак, логистика — это наука, а также набор способов управления потоками товаров, информации и других ресурсов, таких как энергия и люди, от места происхождения до места потребления с целью удовлетворения требований потребителей. Она включает в себя процессы планирования, реализации и контроля эффективного экономического потока сырья, запасных частей, готовой продукции и связанной с ними информации от точки источника до точки потребления.

Основные задачи логистики:

**Управление закупками:** это важный процесс, который включает в себя различные действия, направленные на обеспечение того, чтобы организация получала необходимые товары и услуги в нужное время, в нужном месте и по оптимальной цене. Это требует тщательного планирования, выбора поставщиков, заключения контрактов, а также управления заказами и отношениями с поставщиками.

**Управление запасами:** это ключевой элемент логистики, который обеспечивает оптимальное количество товаров на складе для удовлетворения потребностей клиентов при минимизации затрат.

**Транспортировка:** Транспортировка играет жизненно важную роль в логистике, так как она связывает производителей с потребителями и обеспечивает своевременную доставку товаров.

**Складирование:** эффективное хранение и обработка товаров.

**Управление информацией:** обеспечение точности и своевременности данных о потоках товаров.

Логистика тесно связана с цепочками поставок и часто используется как синоним управления цепочками поставок, хотя последнее является более широким понятием, включающим в себя не только логистику, но и многие другие аспекты, такие как стратегическое планирование и управление отношениями с поставщиками.

В настоящий момент существует несколько математических методов решения задач в сфере логистики.

**Количественные методы решения логистических задач.** В эту группу методов входят такие методы, как:

линейное программирование, целочисленное программирование, теория игр.

**Качественные методы:** метод экспертных оценок, метод Дельфи

**Симуляционные методы:** метод агентного моделирования, метод моделирования Монте-Карло.

Проанализировав существующий спектр задач, которые решаются в ходе функционирования организации в сфере логистики и способы их решения, можно выделить отдельную группу задач, которые могут быть решены с помощью методов многокритериального анализа альтернатив: задача выбора поставщика. Корректный выбор поставщика оказывает влияние на все последующие логистические процессы в организации.

### Решение задачи методом многокритериального анализа альтернатив

Многокритериальный анализ — это метод принятия решений, который используется для решения задач, где необходимо учесть несколько критериев одновременно. Этот подход позволяет сравнивать и оценивать различные альтернативы, учитывая множество факторов, которые могут быть как количественными, так и качественными. Вот некоторые ключевые шаги процесса решения задач многокритериального анализа:

**Формулировка критериев:** Определение набора критериев, которые будут использоваться для оценки альтернатив.

**Взвешивание критериев:** Присвоение весов каждому критерию в соответствии с их значимостью.

**Составление матрицы решений:** Создание матрицы, которая отображает оценки альтернатив по каждому критерию.

**Применение методов многокритериального анализа:** Использование различных методов, таких как метод анализа иерархий (AHP), метод ELECTRE, метод PROMETHEE и другие для анализа и выбора наилучшей альтернативы.

**Анализ чувствительности:** Проверка устойчивости решения путем изменения весов критериев и оценок альтернатив.

Многокритериальный анализ широко применяется в различных областях, включая управление проектами, градостроительство, экологию, бизнес и финансы.

**Метод ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality).** Метод ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant

la REalité) — это один из методов многокритериального анализа, который используется для ранжирования альтернатив, основываясь на их согласованности и несогласованности по отношению друг к другу.

Метод ELECTRE был разработан группой французских исследователей под руководством Бернара Роя (Bernard Roy) в 1960-х годах. Этот метод стал одним из первых в области многокритериального анализа решений и с тех пор широко используется для решения сложных проблем выбора и ранжирования в различных областях, включая экономику, управление и инженерию. Основной вклад Бернара Роя заключался в разработке концепции несогласованности и согласованности между альтернативами, что позволило более полно учитывать различные аспекты при принятии решений.

Вот основные шаги метода ELECTRE:

**Определение критериев:** Выбор критериев, которые будут использоваться для оценки альтернатив.

**Построение матрицы решений:** Оценка каждой альтернативы по каждому критерию.

**Определение весов критериев:** Присвоение весов каждому критерию в зависимости от их важности.

**Вычисление согласованности и несогласованности:** Оценка степени согласованности (сходства) и несогласованности (различия) между каждой парой альтернатив.

**Построение матрицы согласованности/несогласованности:** Создание матрицы, которая показывает согласованность и несогласованность между альтернативами.

**Применение пороговых значений:** Установление порогов для согласованности и несогласованности, чтобы определить, какие альтернативы можно считать приемлемыми.

**Ранжирование альтернатив:** Использование полученной информации для ранжирования альтернатив от наиболее до наименее предпочтительных.

Метод ELECTRE особенно полезен, когда альтернативы сложно сравнить напрямую из-за различий в критериях или когда необходимо учесть неоднозначность и неопределенность в данных. Он позволяет аналитикам учитывать не только сильные стороны альтернатив, но и их слабые стороны, что делает процесс выбора более сбалансированным и обоснованным.

Решим следующую задачу: необходимо осуществить выбор ключевого поставщика из предложенных на основе данных о стоимости услуг поставщика, репутации

поставщика (на практике данный параметр зачастую получается с помощью систем оценки контрагентов), удаленности поставщика, сроков поставки, минимальной партии в единицах.

Метод ELECTRE имеет несколько преимуществ: существует версия данного метода для работы с нечеткими данными, метод предоставляет гибкость в присвоении весов, а также метод способен выявлять конфликтующие критерии.

В контексте многокритериального анализа критериями являются описанные выше признаки, на основе которых происходит выбор поставщика, а альтернативами — каждый отдельный поставщик. Для прикладной задачи предположим, что таковых было 5. Имеются следующие данные:

Таблица 1.

Матрица решений

	Цена ед	Репутация	Удаленность	Срок	Мин. партия
A1	600	7	13	12	100
A2	700	8	20	15	150
A3	700	8	32	24	130
A4	500	6	18	17	200
A5	650	7	6	10	150

Значения критерия «Репутация» представляют собой оценку от 0 до 10.

Ключевыми формулами в методе ELECTRE являются формулы согласия (1) и несогласия (2)

$$C(a,b) = \sum_{j \in J} w_j * a_j(b) \tag{1}$$

$$d(a,b) = \max_{j \in J} \{d_j(a,b)\} \tag{2}$$

В этих формулах:  $C(a,b)$  — индекс согласия для пары альтернатив  $a$  и  $b$ ,  $w_j$  — вес критерия  $j$ ,  $a_j(b)$  — оценка альтернативы  $b$  по критерию  $j$ ,  $d(a,b)$  — индекс несогласия для пары альтернатив,  $d_j(a,b)$  — мера несогласия по критерию  $j$ . Порог согласия обычно устанавливается экспертами или принимающими решения на основе специфики проблемы и важности критериев. Он может быть фиксированным или изменяться в зависимости от контекста задачи. Применяв данные формулы, получаются следующие матрицы согласия и несогласия:

Таблица 2.

Матрица согласованности

0	0	0	0.5	0.38
1	0	0.13	0.63	0.88
1	0.38	0	0.88	0.88
0.5	0.38	0.13	0	0.5
0.25	0	0.13	0.5	0

Таблица 3.

Матрица несогласия

0	1	1	1	0.94
0	0	1	0.4	0
0	0.12	0	0.55	0.08
0.62	1	1	0	0.48
1	1	1	1	0

На основе полученных матриц составляются матрицы доминирующих альтернатив (каждый элемент принимает значение 0 или 1, 1 — альтернатива доминирует, 0 — альтернатива не доминирует)

Таблица 4.

Доминирующие альтернативы по признаку согласия

0	0	0	1	0
1	0	0	1	1
1	0	0	1	1
1	0	0	0	1
0	0	0	1	0

Таблица 5.

Доминирующие альтернативы по признаку несогласия

1	0	0	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1
1	0	0	1	1
0	0	0	0	1

В качестве пороговых значений согласия и несогласия использовались средние показатели: для согласия — 0.45, несогласия — 0.66

**Ранжирование альтернатив.** В данном методе ранжирование альтернатив проводится в 2 шага: формирование ядра решений из альтернатив, которые доминируют над другими и при этом не имеют превосходящих

альтернатив, и непосредственный анализ ядра решения. В данной задаче ядро решений состоит из альтернатив А2 и А3. При этом по матрице доминирующих альтернатив по признаку несогласия видно, что А2 доминирует над А3, то есть наиболее предпочтительной альтернативой из этих 2 является А3.

**Развитие методологии.** Была рассмотрена возможность применения математических моделей многокритериального анализа альтернатив для решения задачи выбора поставщика. Ключевым вопросом в решении логистических задач методами многокритериального анализа альтернатив является непосредственно определение альтернатив и критериев. Так, в задаче выбора оптимального маршрута альтернативами являются предполагаемые маршруты, а критериями могут выступать — протяженность маршрута, количество целевых пунктов на маршруте, затраты на перевозку и так далее.

## Вывод

Итак, в исследовательской работе был проведен анализ прикладной области, а именно логистики, и была описана методология решения логистических задач методом многокритериального анализа альтернатив ELECTRE. Основные преимущества данного метода заключаются в том, что он способен выявлять попарную доминантность альтернатив и представить более полную картину о решаемой задаче, а также в наличии версии для работы с нечеткими данными, которые более правдоподобно отражают реальную ситуацию. Таким образом, возможно создание комплексной системы поддержки решений на основе интеграции автоматизированных математических систем многокритериального анализа альтернатив с существующими инструментами управления логистикой на предприятии. Дальнейшая работа может быть сосредоточена на учете нечеткости различных данных в решаемых прикладных задачах: значений критериев и их весов, пороговых значений соответствия и несоответствия и т.п.

## ЛИТЕРАТУРА

- Кини Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981.
- Руа Б. Проблемы и методы принятия решений в задачах со многими целевыми функциями // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976.
- Егорычев, Д.Н. Управленческие решения: учебник по специальности «Менеджмент организации» / Л.И. Лукичева Д.Н. Егорычев Ю.П. Анискина. — 4-е изд. — Москва: Омега-Л, 2009. — 383 с.

© Гончаров Константин Александрович (goncharovkostya.1997@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВЫМ СОСТАВОМ В ОРГАНИЗАЦИИ

## MULTICRITERIAL ANALYSIS OF ALTERNATIVES IN THE TASKS OF PERSONNEL MANAGEMENT IN AN ORGANIZATION

*K. Goncharov*

*Summary.* The process of personnel management at an enterprise has always played a vital role in the existence of the organization. At the same time, new methods of working with the organization's personnel are constantly being improved and introduced, aimed at increasing the efficiency of the enterprise. In parallel with this, methods of exact sciences, such as mathematics, probability theory, statistics, etc., are being developed and improved. Recent advances in the field of computer science and computer science make it possible to automate many mathematical calculations and work with large volumes of numerical and textual information. In this research work, a methodology for the transition of personnel management problems to a mathematical problem of multicriteria analysis of alternatives will be compiled and methods for automating the corresponding calculations will be presented. The results of the work have high practical value and can be implemented in enterprises of any type.

*Keywords:* human Resources, criterion, alternative, optimization, implementation methodology.

**Гончаров Константин Александрович**

Аспирант, ФГБОУВО «Финансовый Университет при Правительстве Российской Федерации»  
goncharovkostya.1997@gmail.com

*Аннотация.* Процесс управления кадровым составом на предприятии всегда играл важнейшую роль в существовании организации. Вместе с этим постоянно совершенствуются и вводятся новые методы работы с кадровым составом организации, направленные на увеличение эффективности деятельности предприятия. Параллельно с этим, развиваются и совершенствуются методы точных наук, таких как математика, теория вероятностей, статистика и т. п. Последние достижения в области информатики и компьютерных наук позволяют автоматизировать многие математические расчеты и работать с большими объемами числовой и текстовой информации. В данной исследовательской работе будет составлена методика перехода задач управления персоналом к математической задаче многокритериального анализа альтернатив и представлены методы автоматизации соответствующих расчетов. Результаты работы имеют высокую практическую ценность и могут быть внедрены на предприятиях любой направленности.

*Ключевые слова:* управление персоналом, критерий, альтернатива, оптимизация, методика внедрения.

### Введение

В условиях современности качественный подбор персонала, адаптация и удержание ключевых кадров обеспечивают неоспоримое конкурентное преимущество, особенно если речь идет о наукоемких отраслях национальной и мировой экономики. Грамотная политика управления кадрами имеет огромное количество преимуществ, среди которых: возможность осуществлять стратегическое планирование деятельности предприятия, возможность проводить оптимизацию кадровых расходов и многие другие. Внедрение методики решения задач многокритериального анализа альтернатив в процесс руководства кадрами позволяет рассматривать данный процесс как многогранную задачу, в которой каждый отдельный сотрудник или кандидат может быть рассмотрен как альтернатива, а личностные и профессиональные характеристики — как критерии.

Многокритериальный анализ предоставляет возможность объективной оценки альтернативных вариантов управленческих решений, учитывая комплексный набор критериев. Это особенно актуально в условиях

неопределенности и изменчивости рыночной среды, когда необходимо принимать взвешенные и обоснованные решения.

Актуальность темы также обусловлена следующими факторами:

- Необходимость повышения конкурентоспособности организаций через оптимизацию управления персоналом.
- Динамичность рынка труда, требующая гибкого подхода к подбору и развитию кадров.
- Технологические изменения, влияющие на профессиональные требования к сотрудникам.
- Социальная ответственность бизнеса и стремление к созданию благоприятных условий труда.

Использование многокритериального анализа в управлении кадрами позволяет не только повысить эффективность работы персонала, но и способствует формированию стратегических направлений развития организации, учитывая человеческий фактор как один из ключевых ресурсов.

Итак, основная цель данной исследовательской работы — разработка и апробация комплексной методики на основе математического инструментария многокритериального анализа альтернатив, позволяющей оптимизировать процесс принятия решений в сфере управления персоналом.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- *Формализация задач управления кадровым составом.* Необходимо продемонстрировать возможность представления реальных задач из сферы управления персоналом в виде задач многокритериального анализа альтернатив.
- *Составление списка ключевых критериев в рамках решения задачи.* Для корректной работы математических моделей многокритериального анализа необходимо сформировать список критериев и присвоить каждому соответствующее значение.
- *Учет субъективных предпочтений лица, принимающего решение.* Субъективные решения лица, принимающего решение, способны оказать ощутимый эффект и повлиять на конечный выбор альтернативы. Некоторые методы и модели многокритериального анализа способны учитывать данный фактор в конечных расчетах.
- *Разработка итоговой модели многокритериального анализа альтернатив.* В рамках данной задачи необходимо представить функционирующую математическую модель многокритериального анализа альтернатив
- *Проведение эмпирического исследования.* В рамках данного шага необходимо произвести реальные расчеты с целью подтверждения работоспособности модели.

### Основная часть. Процесс управления кадрами на предприятии

Итак, управление кадрами на предприятии — это процесс, который включает в себя набор, обучение, развитие и оценку сотрудников, а также создание условий для их мотивации и удержания. Важно, чтобы управление кадрами было стратегически ориентировано и основывалось на реальных, не подделанных и не созданных искусственным образом данных, чтобы обеспечить эффективное использование человеческих ресурсов и поддержание конкурентоспособности организации. Разработка модели управления кадрами в организации требует решения следующих задач: определение долгосрочных и краткосрочных целей организации и распределение кадровых ресурсов в соответствии потребностям каждой из них; Проведение набора и отбора кандидатур на представленный список открытых должностей; Разработка модели и правил оценки и раз-

вития кадрового состава и постоянная доработка на основе полученных результатов; Создание системы материальной и нематериальной мотивации, системы льгот и поощрений; Формирование и поддержание корпоративной культуры, которая способствует вовлеченности сотрудников и соответствует этическим и нравственным стандартам; Готовность к изменениям и умение управлять ими в условиях постоянно меняющейся внешней и внутренней среды. Все эти элементы направлены на создание сбалансированной, эффективной и гибкой системы управления персоналом, которая будет способствовать достижению стратегических планов компании и улучшению ее конкурентоспособности на рынке.

### Многокритериальный анализ альтернатив

Многокритериальный анализ альтернатив — это процесс оценки различных вариантов решений на основе нескольких критериев. Этот подход позволяет учесть множество факторов и найти оптимальное решение, когда одновременно необходимо удовлетворить несколько целей или интересов. В контексте управления кадрами, многокритериальный анализ может помочь в выборе стратегии развития персонала, оценке эффективности обучения или в процессе принятия решений о продвижении сотрудников.

Вот основные шаги многокритериального анализа альтернатив:

**Определение целей и критериев:** сначала необходимо четко определить, какие цели должны быть достигнуты и какие критерии будут использоваться для оценки альтернатив.

**Сбор и анализ данных:** Сбор необходимой информации о каждой альтернативе и её влиянии на критерии оценки.

**Оценка альтернатив:** Каждая альтернатива оценивается по каждому критерию. Это может включать количественные и качественные оценки.

**Присвоение весов критериям:** Определение важности каждого критерия путем присвоения весовых коэффициентов.

**Расчет итоговых оценок:** Используя методы многокритериального анализа, такие как метод аналитической иерархии (АИП) или метод TOPSIS, рассчитываются итоговые оценки для каждой альтернативы.

**Выбор оптимальной альтернативы:** на основе итоговых оценок выбирается альтернатива, которая наилучшим образом соответствует установленным критериям и целям.

Анализ чувствительности: Проверка устойчивости выбранного решения к изменениям в данных или весовых коэффициентах.

Этот процесс помогает обеспечить более обоснованный и сбалансированный подход к принятию решений, учитывая различные аспекты и потребности организации. Многокритериальный анализ особенно полезен в сложных ситуациях, где простое сравнение альтернатив по одному критерию не является достаточным для принятия решения.

**Методы многокритериального анализа альтернатив, анализ применимости в задачах управления персоналом**

*Метод анализа иерархий.* Данный метод был разработан Томасом Саати и относится к классу критериальных методов. Основные этапы данного численного метода: определение цели, выделение основных критериев и альтернатив, построение древовидной иерархической структуры с начальным элементом в виде цели с переходом через критерии к конечным альтернативам, построение матрицы попарных сравнений критериев по цели и альтернатив по критериям, применение методики анализа матриц, расчет конечных весов альтернатив.

В рамках анализа применимости метода анализа иерархий будет решена следующая прикладная задача управления кадрами: необходимо осуществить приём на открытую вакансию одного из представленных кандидатов. В данном случае альтернативами являются каждая из участвующих в отборе кандидатур (Кандидат 1, Кандидат 2, Кандидат 3), критериями — профессиональные и личностные качества, а также требования по оплате труда и иным нематериальным благам. В рамках данной задачи в качестве критериев берутся такие показатели: требуемая оплата труда, релевантный опыт работы, оценка коммуникативных навыков. При построении матрицы попарных сравнений происходит определение доминантных критериев попарно, производится на основе внутренних целевых установок лица, принимающего решение о найме. Используется бальная система попарного превосходства критериев над другими: при значении > 1 показывается степень превосходства, при значении менее 1 — обратный показатель. Имеется матрица следующего вида:

Таблица 1.

Матрица попарных сравнений

	Оплата	Опыт	Коммуникация
Оплата	1	3	1/4
Опыт	1/3	1	1/5
Коммуникация	4	5	1

Далее составляются аналогичные матрицы попарных сравнений на основе предоставленных данных по каждому критерию:

Таблица 2.

Матрица попарных сравнений альтернатив по критерию «Оплата»

Оплата	K1	K2	K3
K1	1	3	1/2
K2	1/3	1	4
K3	2	1/4	1

Далее, произведя нормировку матрицы, получается вес каждого критерия по цели путем нахождения среднего значения для каждой строки. Повторяя описанные действия для матриц попарного сравнения альтернатив по критериям, получается вектор весовых коэффициентов объектов сравнения с точки зрения соответствия отдельным критериям.

В результате проделанных действий был сформирован вектор весов критериев и матрица весов альтернатив по каждому критерию. При умножении второй матрицы на первую в конечном счете получается вектор весов альтернатив. Наилучшая выбирается по признаку максимального веса.

Таким образом, был описан процесс применения метода анализа иерархий из класса методов многокритериального анализа альтернатив при решении задачи приема на открытую вакансию сотрудника из нескольких альтернатив. Данный метод способен учитывать предпочтения лица, принимающего решение, при определении доминантности критериев. Стоит отметить, что данный метод не способен объективно оценить превосходство одной альтернативы над другой, а предоставляет вариант, наиболее точно соответствующий представлениям лица, принимающего решение о превосходстве одного критерия над другим. Тем не менее, было доказано, что задачу выбора кандидатуры можно свести к задаче многокритериального анализа альтернатив и решить соответствующим численным методом. Так как задача сводится к математической, то возможно применение автоматизированных средств проведения математических расчетов.

*Метод TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)* — метод многокритериального анализа альтернатив, заключающийся в выборе альтернативы, наиболее близкой к идеальному решению, и наиболее далекой от наихудшего решения.

Метод TOPSIS был разработан тайваньскими исследователями Чинг-Лай Хвангом (Ching-Lai Hwang) и Квун-Юн Юном (Kwee-Yung Yoon) в 1981 году. Этот метод предназначен для решения задач многокритериального выбо-

ра и ранжирования, и он основан на идее, что выбранная альтернатива должна иметь наименьшее евклидово расстояние от идеальной точки и наибольшее от нежелательной (антиидеальной) точки. TOPSIS широко применяется в различных областях, таких как управление цепочками поставок, экологическое управление и планирование производства, благодаря своей простоте и логичности в интерпретации результатов.

В рамках данного метода производятся следующие шаги: Формирование матрицы решений, где строки представляют собой альтернативы, а столбцы — критерии; Нормализация матрицы решений; Взвешивание нормализованных значений, в результате которого происходит присвоение весов каждому критерию; Определение идеального и противоположного идеальному решения, что по сути является введением фиктивных альтернатив с максимизированными или минимизированными значениями критериев; Расчет евклидова расстояния между реальными альтернативами и фиктивными; Расчет относительной близости альтернатив к идеальному решению; Ранжирование альтернатив, заключающееся в расположении по принципу близости к фиктивной идеальной альтернативе.

Преимущество данного метода по сравнению с предыдущим может быть заключено в его объективности, а не фиксации на предпочтениях лица, принимающего решения, поскольку фиктивная идеальная альтернатива представляет объективный идеал в решаемой задаче. В общем виде задача многокритериального анализа в контексте метода TOPSIS может быть представлена матрицей  $D$ :

$$D = \begin{matrix} & A_1 & \dots & A_n \\ C_1 & x_{11} & & x_{1n} \\ C_2 & x_{21} & & x_{2n} \\ \dots & \dots & & \dots \\ C_m & x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{matrix}$$

В матрице  $D$ :  $A_1, A_2$  и так далее — набор альтернатив,  $C_1, C_2$  — критерии, по которым происходит оценка каждой альтернативы,  $x_{ij}$  — Оценка альтернативы  $A_j$  по критерию  $C_i$ .

Рассмотрим с помощью данного метода следующую задачу: компания готовит расширение бизнеса и планирует открытие нового офиса обслуживания клиентов. Перед будущим руководителем нового офиса обслуживания стоит задача: определиться с графиком работы офиса и обосновать превосходство выбранного варианта над остальными. Значения критериев каждого из вариантов были определены путем предварительного маркетингового исследования. В данной задаче представлены 3 альтернативы: односменный график, двухсменный график и круглосуточная работа. Для решения задачи методом многокритериального анализа альтернатив TOPSIS необходимо выполнить следующие шаги и расчеты:

### Определение критериев и распределение значений

В рамках данной задачи были определены следующие критерии: необходимая численность штата, общие затраты на содержание штата, аренды здания и т. д., ожидаемая посещаемость офиса (человек в месяц).

### Построение матрицы решений на основе экспертных оценок

Матрица решений имеет следующий вид:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}, i=1 \dots m; j=1 \dots n,$$

где  $x_{ij}$  является значением критерия  $j$ , присвоенного альтернативе  $i$ . В данной задаче матрица решений имеет следующий вид:

$$X = \begin{pmatrix} 8 & 100000 & 7000 \\ 12 & 120000 & 12000 \\ 18 & 200000 & 15000 \end{pmatrix}$$

### Нормализация матрицы решений

Нормализация матрицы в задачах многокритериального анализа, таких как TOPSIS, необходима по нескольким причинам:

#### Устранение единиц измерения

Разные критерии могут иметь разные единицы измерения (например, годы опыта, проценты, доллары). Нормализация приводит все критерии к безразмерному виду, что позволяет их сравнивать.

#### Обеспечение сопоставимости

Нормализация делает значения критериев сопоставимыми, так как они приводятся к одной шкале, обычно от 0 до 1 или от -1 до 1.

#### Уменьшение субъективности

Она помогает уменьшить субъективное влияние выбора единиц измерения на результаты анализа.

#### Упрощение вычислений

Нормализованные данные упрощают математические операции, такие как вычисление расстояний до идеального и антиидеального решений в TOPSIS.

Формула нормализации матрицы, которая применяется в методе TOPSIS, выглядит следующим образом:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n x_{kj}^2}}$$

В данной формуле  $r_{ij}$  — нормализованное значение элемента матрицы,  $x_{ij}$  — исходное значение элемента, а  $n$  — количество альтернатив. Нормализация матрицы помогает достичь объективности и точности, что нацелено на принятие более независимого решения. Нормализованная матрица в данной задаче выглядит следующим образом:

$$R = \begin{pmatrix} 0.09 & 0.2 & 0.09 \\ 0.13 & 0.24 & 0.15 \\ 0.2 & 0.39 & 0.18 \end{pmatrix}$$

Определение идеального и антиидеального решений. Необходимо определить ключевые элементы в данном методе — идеальную альтернативу и антиидеальную альтернативу. Значения идеального и антиидеального решений формируются на основе нормализованной матрицы и выглядят следующим образом:

$$A^+ = (0.2, 0.2, 0.18)$$

$$A^- = (0.09, 0.39, 0.09)$$

$A^+$  является вектором значений идеального решения,  $A^-$  — вектор антиидеального решения.

### Расчет расстояний до идеального и антиидеального решений

Расчет расстояний до идеального и антиидеального решений является ключевым этапом в методе TOPSIS. Эти расстояния помогают определить, насколько каждая альтернатива близка к идеальному решению и далека от антиидеального.

Для расчета используются следующие формулы:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j * (r_{ij} - r_j^+))^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j * (r_{ij} - r_j^-))^2}$$

В данных формулах  $D_i^+$  — расстояние от  $i$ -й альтернативы до идеального решения,  $D_i^-$  — расстояние от  $i$ -й альтернативы до антиидеального решения,  $w_j$  — вес  $j$ -го критерия,  $r_{ij}$  — нормализованное значение альтернативы  $i$  по критерию  $j$ ,  $r_j^+$  и  $r_j^-$  — идеальные и антиидеальные значения по критерию  $j$ .

После расчета расстояний, можно определить относительную близость каждой альтернативы к идеальному решению, что позволяет ранжировать альтернативы и выбрать наилучшую.

Используя приведенные выше формулы, получаются следующие результаты:

Вектор расстояний до идеального решения: (0.15, 0.08, 0.2)

Вектор расстояний до антиидеального решения: (0.20, 0.17, 0.15)

### Расчет относительной близости к идеальному решению

Относительная близость к идеальному решению в методе TOPSIS показывает, насколько каждая альтернатива предпочтительна по сравнению с другими. Это отношение расстояния до антиидеального решения к сумме расстояний до идеального и антиидеального решений. Формула для расчета относительной близости к идеальному решению выглядит следующим образом:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

Чем ближе значение к 1, тем лучше альтернатива, так как это означает, что она ближе к идеальному решению и дальше от антиидеального. Альтернативы затем ранжируются на основе их относительной близости, и выбирается альтернатива с наивысшим значением, так как она считается наилучшей среди рассматриваемых вариантов. Этот подход обеспечивает систематический и количественный метод выбора наиболее подходящего варианта. Применяя данную формулу, получаем следующий вектор значений относительной близости: (0.57, 0.67, 0.43)

Ранжируя альтернативы по величине относительного расстояния до идеального решения, получаем ответ, что вторая альтернатива, то есть график с 2 сменами в день является наиболее предпочтительной альтернативой. Данное решение может быть объяснено лицом, принимающим решение, посредством того факта, что задача была сведена к задаче класса многокритериального анализа альтернатив и решена известным и апробированным математическим методом. Таким образом, в ходе рассмотрения данного метода, было показано, что задача определения графика работы и выделения соответствующего числа открытых позиций в штатном расписании может быть решена методом TOPSIS

### Вывод

В данной статье был проанализирован состав задач, которые необходимо решать в рамках процесса управления кадрами на предприятии, и возможность применения математического инструментария решения задач многокритериального анализа альтернатив при решении данных задач. Использование методов анали-

за иерархий и TOPSIS позволило комплексно оценить кандидатов, обосновать выбор графика работы отделения обслуживания клиентов и описать процесс выбора программы развития сотрудников с помощью автоматизированного программного обеспечения. Результаты исследования подчеркивают важность применения

многокритериального подхода в процессе управления кадрами, позволяя руководителям принимать более обоснованные и сбалансированные решения. Такой подход способствует повышению эффективности кадровой политики и способствует достижению стратегических целей организации.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Yue Z. (2014) TOPSIS-based group decision-making methodology in intuitionistic fuzzy setting // Information Sciences. Vol. 277. P. 141–153.
2. Hwang C.L., Yoon K. (1981) Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Berlin: Springer-Verlag.
3. Anand M.B., Vinodh S. (2018) Application of fuzzy AHP — TOPSIS for ranking additive manufacturing processes for microfabrication // Rapid Prototyping Journal. Vol. 24. № 2. P. 424–435. DOI: 10.1108/RPJ-10-2016-0160.

---

© Гончаров Константин Александрович (goncharovkostya.1997@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВНЕДРЕНИЕ ОТКРЫТЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПЛАТФОРМ В ГОРОДСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ ПЛАТФОРМУ «УМНЫЙ ГОРОД»

## IMPLEMENTATION OF OPEN INNOVATIVE PLATFORMS IN URBAN MANAGEMENT THROUGH THE «SMART CITY» PLATFORM

*N. Grudanov*

*Summary.* The article discusses the concept of implementing open innovative platforms in urban management using the example of the «Smart City» platform. In modern conditions, there is an evolution from traditional open data platforms to platforms of active citizen engagement, reflecting a shift in focus in managing urban processes. Such platforms facilitate the integration of innovations from external participants and ensure interactive interaction between urban structures and residents. Special attention is paid to the role of citizen participation in the processes of digitization and improvement of urban services. Examples of successful initiatives in Russian cities, such as «Active Citizen» and «Our City» in Moscow, are provided. The importance of standards and indexes developed at the national level for evaluating the effectiveness of digital solutions in urban management is noted. In conclusion, the importance of synergy between technologies and citizens in creating an adaptive and self-regulating urban environment is emphasized.

*Keywords:* Smart City, open innovative platforms, urban management, citizen participation, digitization, crowdsourcing, interactive interaction, Russia, Active Citizen, Our City, «Smart City» standard, «City IQ» index.

*Груданов Николай Алексеевич*

*Аспирант, Национальный исследовательский  
ядерный университет «МИФИ»  
grudanov.nikolay@outlook.com*

*Аннотация.* В статье рассматривается концепция внедрения открытых инновационных платформ в городское управление на примере платформ «Умный город». В современных условиях происходит эволюция от традиционных платформ открытых данных к платформам активного вовлечения граждан, что отражает изменение фокуса в управлении городскими процессами. Такие платформы способствуют интеграции инноваций от внешних участников и обеспечивают взаимодействие между городскими структурами и жителями. Особое внимание уделяется роли гражданского участия в процессах цифровизации и улучшении городских услуг. Приведены примеры успешных инициатив в российских городах, таких как «Активный гражданин» и «Наш город» в Москве. Отмечена значимость стандартов и индексов, разработанных на национальном уровне, для оценки эффективности цифровых решений в городском управлении. В заключение, подчеркивается важность синергии между технологиями и гражданами для создания адаптивной и саморегулирующейся городской среды.

*Ключевые слова:* умный город, открытые инновационные платформы, городское управление, гражданское участие, цифровизация, краудсорсинг, интерактивное взаимодействие, Россия, Активный гражданин, Наш город, стандарт «Умный город», индекс «IQ городов».

И нновационная платформа, как правило, представляет собой методологию, которая систематически способствует интеграции инноваций от внешних участников, направленную на создание решений для задач и потребностей, которые стоят перед владельцами платформ. В урбанистическом контексте владельцем такой платформы обычно выступает муниципалитет, что подразумевает функционирование платформы как медиатора между городскими структурами и внешними агентами, обеспечивая тем самым синергию их инновационных усилий. Инновационные процессы в городской среде охватывают широкий спектр направлений, включая повышение качества жизни граждан, адаптацию и внедрение передовых технологий, формирование или реформирование экономических возможностей, а также разработку решений в области цифровизации, устойчивого развития и пространственного планирования.

Существующие методы управления и менеджмента на инновационных платформах характеризуются рядом существенных недостатков, прежде всего из-за их опоры

на бюрократические процедуры и централизованное принятие решений. В результате, такие структуры оказываются неспособными к эффективному взаимодействию с другими городами и компаниями, что ограничивает их способность интегрировать и использовать инновационный потенциал внешних источников. Несмотря на наличие базовой инфраструктуры, способствующей инновационному сотрудничеству, активность в этом направлении остается низкой. Для преодоления этих ограничений необходимы новые управленческие подходы, включающие активное участие и взаимодействие всех заинтересованных сторон, коллективное обучение, координацию через взаимную корректировку и системное управление, децентрализацию, разнообразие и экспериментирование. Также важно внедрять эффективные меры для преодоления системной жесткости и ограничений, препятствующих развитию [6].

Разнообразие функций этих ролей формирует инновационную парадигму принятия решений, обозначаемую аббревиатурой DIKI (данные, информация, знание,

воздействие). В рамках этого подхода анализ обширных массивов генерируемых данных позволяет управляющему агенту получать исчерпывающую информацию о поведении системы и осуществлять управленческие воздействия, основываясь на результатах предиктивной аналитики [8].

DIKI-подход активно применяется в управлении умными городами, где цифровые технологии создают адаптивную городскую среду. Это способствует автоматизации и саморегуляции ключевых городских подсистем, таких как ЖКХ, транспорт, безопасность, энергетика и здравоохранение. Внедрение инновационных методов сбора, анализа и визуализации больших данных позволяет оптимизировать взаимодействие между жителями, городскими службами и органами управления.

Однако реализация DIKI-подхода сталкивается с барьерами, обусловленными социотехнической сложностью системы, которая включает взаимосвязанные социальные агенты, организации и технические устройства. В системах, где преобладают инфраструктурные и технические компоненты, интеграция DIKI-подхода осуществляется через сенсоры, датчики и распределенные вычисления на базе машинного обучения. Примеры таких систем включают умные контейнеры в логистике и транспортировке, а также системы мониторинга энергопотребления и освещения [11].

Социотехнические системы, включающие социальные и профессиональные группы, сталкиваются с проблемами организации взаимодействия между участниками, стимулирования их вклада и обеспечения инфраструктурной базы для краудсорсинга и накопления коллективного знания. Особое внимание уделяется созданию гарантий для рассмотрения гражданских инициатив.

Концепция «Умный город 3.0» представляет собой интеграцию передовых цифровых технологий в повседневную жизнь городов, что позволяет создать саморегулируемую и адаптивную урбанистическую среду. Эти города улучшают социальную ценность, предоставляя комплексные решения для мобильности, многоканальной коммуникации и обратной связи между гражданами и властями. Внедрение онлайн-сервисов, датчиков и Интернета вещей позволяет регулировать такие аспекты городской жизни, как освещение и энергопотребление, а также использовать интерактивные карты и искусственный интеллект для анализа больших данных, что способствует более эффективному городскому планированию и управлению.

Примерами успешных умных городов являются Барселона и Амстердам, где жители активно пользуются разнообразными онлайн-сервисами для взаимодей-

ствия с государственными службами и взаимодействия друг с другом. Основными целями «Умного города 3.0» являются адаптация новых технологий к системам подотчетности граждан и содействие участию общественности в городском планировании [4].

Одним из ключевых аспектов успешной реализации концепции умных городов является создание платформ открытых данных и платформ участия граждан. Платформы открытых данных предоставляют централизованный доступ к информации о городских службах и данных организаций, что улучшает прозрачность и позволяет гражданам активно участвовать в управлении городом. Такие платформы эволюционировали в направлении большего вовлечения граждан, предоставляя инструменты для синхронизации городских служб и активного участия населения в процессах принятия решений.

В России также наблюдается активное внедрение платформ гражданского участия, как показывает пример Москвы с инициативами «Активный гражданин» и «Наш город». Эти платформы стали важным элементом в создании умных городов и внедрении цифровых технологий в управление городом, что подчеркнуто стандартом «Умный город» от Минстроя России и индексом цифровизации «IQ городов».

Современные платформы открытых данных, в основном организованные в виде порталов, активно используются для агрегации и диффузии информации, часто предоставляемой государственными учреждениями. Такие платформы структурируют информацию по тематическим кластерам и обновляют её в реальном времени, используя данные из различных источников, включая геолокационные данные, данные об окружающей среде и поведенческие данные, что способствует автоматизации и улучшению их функциональности.

Открытые данные способствуют координации между различными заинтересованными сторонами, снижая транзакционные издержки и повышая экономическую эффективность, что может привести к значительному увеличению добавленной стоимости, достигающему 3–7 триллионов долларов в год в различных «умных» городах [10].

Преимущества открытых данных также включают прозрачность и доступность информации, что способствует демократизации управления городами. Они обеспечивают основу для контроля качества городских услуг и способствуют разработке новых инноваций, позволяя использовать анализ больших данных для выявления наиболее эффективных решений. Кроме того, открытые данные могут служить платформой для сотрудничества между гражданами, бизнесом, государственными структурами и академическими кругами,

тем самым уменьшая риски и повышая обоснованность управленческих решений.

В современных условиях происходит эволюция от традиционных платформ открытых данных к платформам активного вовлечения граждан, что отражает изменение фокуса в управлении городскими процессами. Цифровизация и применение технологий в умных городах трансформируют повседневную жизнь жителей, которые, используя современные устройства и интернет, постоянно генерируют данные. Эти данные используются для улучшения городских услуг и управления через цифровые платформы [5].

Платформы вовлечения граждан представляют собой эволюционное развитие открытых данных, где ключевым элементом является интерактивное взаимодействие. Они обеспечивают синхронизацию городских служб, позволяя жителям активно участвовать в городском управлении через интернет-обращения, push-уведомления и краудсорсинг. Эти платформы не только расширяют функционал, но и способствуют более тесной связи между гражданами и властями.

Основные цели платформ вовлечения граждан включают:

1. Повышение открытости доступа к информации и стимулирование активного участия общественности.
2. Способствование инновационному творчеству на индивидуальном и коллективном уровнях.
3. Поддержка интерактивных форм общения и обмена информацией между властями и населением.
4. Содействие интегративной городской политике через коллективное решение проблем и оценку результатов [7].

Примеры реализации таких подходов включают различные формы гражданского участия в городском планировании, как в Нью-Йорке и Сан-Франциско, где местные жители активно участвуют в разработке городских проектов и определении приоритетных направлений развития. Кроме того, в умных городах функционируют инновационные инкубаторы и акселераторы, которые способствуют созданию новых технологий и решений в рамках сетевого взаимодействия и краудсорсинга.

Гражданские платформы вовлечения выступают как эффективные инструменты для мониторинга структурных и институциональных изменений в городах, обеспечивая реальное время обратной связи и коллективное принятие решений, что способствует формированию инновационной микросреды. Эти платформы способствуют поддержанию города как гибридной самоорганизующейся системы и снижению социально-политических рисков. Однако успешная интеграция таких платформ

требует решения проблем, связанных с информационной безопасностью и конфиденциальностью данных участников.

В России отсутствует унифицированный стандарт для платформ гражданского участия, что позволяет муниципалитетам выбирать инструменты в зависимости от уровня развития цифровой инфраструктуры и доступных ресурсов. Это подчеркивает необходимость разработки общей модели для оценки и реализации таких платформ в российских умных городах [2].

Отсутствие стандартизации в создании и внедрении платформ вовлечения граждан в России предлагает возможность создания универсальной модели функционирования таких платформ, которая будет включать в себя компоненты, используемые для оценки городских платформенных решений. Современные платформы стремятся к максимальной интеграции с другими платформами и расширению своего функционала. В российской исследовательской практике уже существуют проекты, изучающие электронные платформы общественного участия, но большее внимание уделяется процедурным аспектам. Современные платформы вовлечения граждан превосходят эти ограничения, включая функции персональной коммуникации с властями, краудсорсинг идей, доступ к открытым данным, городским сервисам и службам, а также использование новых технологий для моделирования городских пространств.

Исследование платформ гражданского участия в российских городах выявило ключевые аспекты их развития. Инициативы, такие как «Активный гражданин» и «Наш город» в Москве, стали триггером для распространения подобных платформ в другие регионы, особенно в контексте создания умных городов и внедрения цифровых технологий в городское управление. В 2019 году Минстрой России опубликовал стандарт «Умный город», подчеркивающий важность учета мнений граждан при решении муниципальных задач, что предполагает создание и использование платформ гражданского участия. Кроме того, индекс цифровизации городского хозяйства «IQ городов», представленный в 2020 году, включает оценку наличия таких платформ как индикатор эффективности городского управления [1].

Анализ существующих платформ показывает две основные тенденции. Во-первых, большинство платформ сконцентрированы на информационном обмене и предоставлении услуг, включая модули для голосования, управления инцидентами, и обратной связи жителей. Некоторые платформы также предлагают доступ к открытым данным и возможности краудсорсинга. Во-вторых, хотя некоторые платформы ограничены конкретными сферами, как, например, платформа «Открытый город» в Елабуге для ЖКХ [9], ожидается, что с развитием циф-

ровой инфраструктуры городов, увеличится интеграция платформ с другими цифровыми сервисами, что потребует дальнейшей работы над кибербезопасностью и расширением функционала.

Для улучшения платформ гражданского участия в российских городах предлагаются следующие направления развития:

1. Повышение информационного потока и обратной связи через интеграцию с крупными платформами, такими как сервисы Яндекс. Это увеличит аудиторию и создаст сетевой эффект, усиливая ценность платформ. Возможные направления включают в себя использование Яндекс. Новости и Яндекс. Происшествия для новостных лент, Яндекс. Карты для интерактивных карт города, а также Яндекс. Кью и Яндекс. Дзен для сбора и оценки идей от граждан.
2. Применение геймификационных подходов для повышения вовлеченности пользователей и удержания их активности на платформах. Геймификация, включая элементы, такие как виртуальные валюты, рейтинги и системы наград, способствует повышению заинтересованности и мотивации. Это может стимулировать регулярное участие пользователей в оценке городских услуг и получении обратной связи, что важно для развития умных городов и повышения человеческого капитала. В контексте умных городов геймификация может быть реализована через виртуальные квесты по интерактивной карте, предоставляя властям данные об активности и предпочтениях граждан относительно городских пространств [3].

В российских городах наблюдается тенденция к распространению платформ вовлечения граждан, под-

держиваемая институциональными мерами, такими как стандарт «Умный город» Минстроя РФ. На текущем этапе функциональность большинства таких платформ ограничена возможностями для персональной коммуникации между гражданами и властями, а также голосованием по городским инициативам. Важным шагом для развития будет расширение функционала платформ за счет включения краудсорсинга идей от жителей, а также интеграции с другими городскими порталами и сервисами для создания единой виртуальной сети, способствующей активному участию граждан в оценке и улучшении урбанистической среды. Тем не менее, такое развитие предполагает необходимость усиления компетенций граждан в области использования цифровых технологий и повышение уровня кибербезопасности информационных систем.

Подводя итоги исследования, отметим, что в развитии умных городов нового поколения ключевую роль играет гражданское участие, которое включает в себя определение приоритетов и оценку проектов городского развития. Это требует наличия человеческого капитала и доступа к данным в реальном времени, а также сохранения города как гибридной системы. Платформы вовлечения граждан, интегрированные с городскими сервисами, предоставляют омниканальное взаимодействие между властью и населением, краудсорсинг, доступ к данным и моделирование развития города. Цифровизация вносит новые принципы управления, оптимизируя не только отдельные процессы, но и общегородскую среду. В России платформы вовлечения граждан активно внедряются, хотя и различаются по степени интеграции и функциональности. Ожидается, что с ростом цифровизации, эти платформы будут все больше интегрироваться с другими городскими службами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамова Д.А. Платформа «Активный гражданин» как пример реализации концепции «Умный город» / Д.А. Абрамова // Вестник магистратуры. — 2020. — №1–5 (100). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/platforma-aktivnyy-grazhdanin-kak-primer-realizatsii-kontseptsii-umnyy-gorod> (дата обращения: 05.06.2024).
2. Васильева Е.И. Платформы гражданского участия как направление цифровизации публичного управления / Е.И. Васильева, А.В. Орфонидий // Муниципалитет: экономика и управление. — 2022. — №3 (40). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/platformy-grazhdanskogo-uchastiya-kak-napravlenie-tsifrovizatsii-publichnogo-upravleniya> (дата обращения: 05.06.2024).
3. Васильева Р. Умные города как будущее пространство для гражданского общества / Р. Васильева // Сканирование горизонтов: роль информационных технологий в будущем гражданского общества. — 2020. — №1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/umnye-goroda-kak-budushee-prostranstvo-dlya-grazhdanskogo-obschestva> (дата обращения: 05.06.2024).
4. Дрожжинов В.И. Умные города: модели, инструменты, ранкинги и стандарты / В.И. Дрожжинов, В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, С.А. Сиягов, А.А. Харитонов // International Journal of Open Information Technologies. — 2017. — №3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/umnye-goroda-modeli-instrumenty-renkingi-i-standarty> (дата обращения: 05.06.2024).
5. Кононова О.В. Технологии цифровой экономики в проектах умный город: участники и перспективы / О.В. Кононова, М.А. Павловская // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2018. — №3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-tsifrovoy-ekonomiki-v-proektah-umnyy-gorod-uchastniki-i-perspektivy> (дата обращения: 05.06.2024).

6. Малхасьян С.С. «Умный город» как перспективный инструмент по внедрению открытых инновационных платформ в городское управление / С.С. Малхасьян Е.А. Кувалдина // Экономика и бизнес: теория и практика. — 2022. — №4–2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/umnyy-gorod-kak-perspektivnyy-instrument-po-vnedreniyu-otkrytyh-innovatsionnyh-plattform-v-gorodskoe-upravlenie> (дата обращения: 05.06.2024).
7. Мухаметов Д.Р. Модели платформ вовлечения граждан для создания в России умных городов нового поколения / Д.Р. Мухаметов // Вопросы инновационной экономики. — 2020. — №3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-plattform-vovlecheniya-grazhdan-dlya-sozdaniya-v-rossii-umnyh-gorodov-novogo-pokoleniya> (дата обращения: 05.06.2024).
8. Попова Л.В. Исследование современной парадигмы инновационного развития национальной экономики / Л.В. Попова, И.А. Коростелкина, Е.Г. Дедкова // Вестник ОмГУ. Серия: Экономика. — 2018. — №4. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-sovremennoy-paradigmy-innovatsionnogo-razvitiya-natsionalnoy-ekonomiki> (дата обращения: 05.06.2024).
9. Портал «Открытая Елабуга» — онлайн-система диспетчеризации заявок от населения в сфере ЖКХ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://openelabuga.ru/> (дата обращения: 05.06.2024).
10. Семячков К.А. Оценка влияния инициатив умного города на транзакционные издержки фирмы / К.А. Семячков // ЕГИ. — 2022. — №43 (5). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-initsiativ-umnogo-goroda-na-transaktsionnye-izderzhki-firm> (дата обращения: 05.06.2024).
11. Социальная реальность виртуального пространства: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (Иркутск, 25 сент. 2023 г.) / под общ. ред. О.А. Полюшкевич. — Иркутск: Изд-во ИГУ, 2023. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Загл. с этикетки диска.

---

© Груданов Николай Алексеевич ([grudanov.nikolay@outlook.com](mailto:grudanov.nikolay@outlook.com))  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЫХАТЕЛЬНОЙ ДИНАМИКИ И ЧЕЛОВЕКО-КОМПЬЮТЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКСЕЛЕРОМЕТРА И ГИРОСКОПА

## DEVELOPMENT OF MODELS AND METHODS FOR ANALYZING RESPIRATORY DYNAMICS AND HUMAN-COMPUTER INTERACTION USING AN ACCELEROMETER AND A GYROSCOPE

**I. Gulyaev**  
**D. Kurlyak**  
**I. Shabanova**  
**A. Zubkov**  
**I. Pechenov**

*Summary.* This article discusses an integrated approach to the analysis of breathing and interaction with a computer. We explore how data from the accelerometer and gyroscope can help in automated analysis of breathing patterns and improve interaction with a computer system. Our methods allow you to track the movements and connections more accurately between a person and a computer. The results of the study show the potential of using these models to improve understanding of human behavior and create more convenient and intuitive communication systems.

*Keywords:* automation, human-computer interaction, medical applications, experimental research, automated analysis, accelerometer and gyroscope, rehabilitation of motor function, analysis of the form of breathing, machine learning.

**Гуляев Иван Владимирович**

Волгоградский государственный  
технический университет  
aioki@outlook.com

**Курляк Дмитрий Владимирович**

Волгоградский государственный  
технический университет

**Шабанова Ирина Николаевна**

Волгоградский государственный  
технический университет  
shabanovaira34@outlook.com

**Зубков Александр Владимирович**

кандидат технических наук, начальник управления  
информационного развития, преподаватель,  
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский  
университет» Минздрава России;  
старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Волгоградский  
государственный технический университет»  
zubkov.alexander.v@gmail.com

**Печенов Иван Павлович**

Волгоградский государственный  
технический университет  
vavilongromov@yandex.ru

*Аннотация.* В данной статье рассматривается комплексный подход к анализу дыхания и взаимодействию с компьютером. Мы исследуем, как данные с акселерометра и гироскопа могут помочь в автоматизированном анализе дыхательных паттернов и улучшить взаимодействие с компьютерной системой. Наши методы позволяют точнее отслеживать движения и связи между человеком и компьютером. Результаты исследования показывают потенциал использования этих моделей для улучшения понимания поведения человека и создания более удобных и интуитивных систем общения.

*Ключевые слова:* автоматизация, человеко-компьютерное взаимодействие, медицинские приложения, экспериментальные исследования, автоматизированный анализ, акселерометр и гироскоп, реабилитация двигательной функции, анализ формы дыхания, машинное обучение.

### Введение

**Х**роническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) представляет собой серьезное заболевание дыхательной системы, характеризующееся постоянным воспалением легких, ограничением воздушного потока и прогрессирующей дыхательной недостаточностью. Мировая статистика свидетельствует о масштабе проблемы: около 210 миллионов людей по всему миру стра-

дают от ХОБЛ, делая это заболевание четвертым по частоте смертельной неинфекционной болезнью. Чаще всего ХОБЛ поражает взрослых, причем риск заболевания возрастает с возрастом.

Инсульт, в свою очередь, является одной из ведущих причин инвалидности и смертности по всему миру. Более 15 миллионов случаев инсульта происходит ежегодно. Это заболевание может поразить любого в любом

возрасте, однако риск значительно возрастает с возрастом. Важно отметить, что инсульт может оказать сильное влияние на функциональность верхних конечностей, вызывая различные степени нарушения двигательных функций, особенно в случае ишемических или геморрагических типов инсульта [1].

Для восстановления функций верхних конечностей после инсульта требуется комплексный подход к реабилитации, включающий физическую терапию, эрготерапию и другие методы. Возможности реабилитации играют важную роль в восстановлении двигательных навыков и повышении качества жизни пациентов, столкнувшихся с последствиями инсульта. Общая статистика по этим двум заболеваниям подчеркивает необходимость широкого применения мер профилактики, ранней диагностики, лечения и реабилитации для улучшения прогнозов и качества жизни пациентов [2].

### Анализ предметной области

В последние годы наблюдается растущий интерес к разработке моделей и методов анализа дыхательной динамики и человеко-компьютерного взаимодействия, что связано с возрастающей ролью технологий в области здравоохранения и улучшения качества жизни человека. Одним из перспективных направлений в этом контексте является использование акселерометра и гироскопа для анализа дыхательной динамики и человеко-компьютерного взаимодействия.

С помощью данных с акселерометра и гироскопа можно анализировать частоту и амплитуду движений пациента, его пульсацию и вдох-выдох. Эти параметры были использованы для оценки состояния пациента и эффективности проводимых реабилитационных мероприятий.

Человеко-компьютерное взаимодействие было организовано с использованием специального программного обеспечения, которое позволит пациенту контролировать свои движения и дыхание, и получать обратную связь о качестве и результативности. Это поможет пациенту более эффективно выполнять упражнения и улучшать свои физические возможности [3].

Целью нашей работы является разработка моделей и методов анализа дыхательной динамики и человеко-компьютерного взаимодействия с использованием акселерометра и гироскопа. Мы планируем исследовать возможности использования данных, полученных с помощью акселерометра и гироскопа, для анализа дыхательной динамики и человеко-компьютерного взаимодействия, а также разработать комплексные методы и алгоритмы для обработки и анализа этих данных. В нашей работе мы используем интердисциплинарный под-

ход, который объединяет знания из области биомедицинской инженерии, компьютерной науки и статистики.

### Описание метода

Наш метод основан на применении разнообразных упражнений, специально разработанных для восстановления двигательных функций верхних конечностей. Этот комплекс упражнений направлен на укрепление мышц, улучшение координации движений и восстановление потерянных навыков. Ключевым элементом является индивидуализированный подход, учитывающий возможности каждого пациента.

Для эффективного контроля процесса восстановления мы внедрили использование мобильного приложения, взаимодействующего с гироскопом и акселерометром. Эти сенсоры позволяют нам получать информацию о движениях пациента в реальном времени, что дает возможность корректировать тренировочные программы.

Одним из ключевых преимуществ нашего метода является возможность анализа данных с помощью линейной SVM (Support Vector Machine) и анализа временных рядов. Исследование дыхания с помощью ИНС позволяет нам выявлять изменения, связанные с заболеваниями легких, включая Хобл. Анализ временных рядов движений помогает выявлять тренды в процессе восстановления и адаптировать программы тренировок для достижения наилучших результатов [4].

### Набор данных

Для обучения линейной SVM мобильной программы диагностирования хобл необходим набор данных.

Набор данных содержит информацию о движениях, записанных с помощью гироскопа и акселерометра. Данные были собраны путем проведения экспериментов с учащимися вуза.

На примере, изображенном на рисунке 1, демонстрируется процесс сбора данных. Во время этого процесса важно соблюдать определенные правила:



Рис. 1. Процесс сбора данных

1. Настройка мобильного устройства:

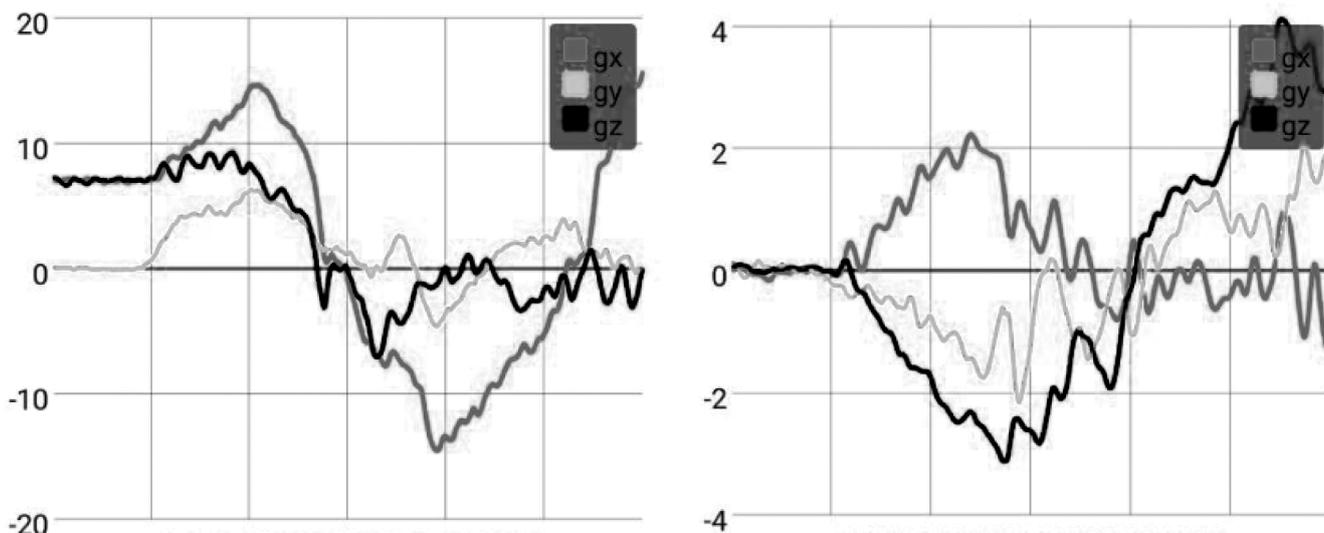


Рис. 2. Формат данных в виде графиков

- Убедитесь, что мобильное устройство оборудовано гироскопом и акселерометром.
  - Установите приложение для сбора данных/диагностирования.
2. Подготовка к сбору данных/диагностированию:
    - Поставьте телефон на горизонтальную поверхность, где плоская сторона экрана будет расположена вверх.
    - Поместите мобильное устройство на место сбора данных (относительно выбранного в приложении). Убедитесь, что телефон надежно фиксируется.
  3. Запуск сбора данных/диагностирования:
    - Необходимо оставаться в состоянии покоя в течение определенного времени (1–2 минуты) для записи данных фонового уровня.
    - Запустите запись данных в приложение на мобильном устройстве.
    - Тестируемому следует продолжать сохранять горизонтальное положение тела в течение всего сеанса сбора данных.
    - Поддерживать равномерное и спокойное дыхание для минимизации движений торсом.
  4. Ожидание окончания записи:
    - Проиграется звуковой сигнал, когда запись данных завершится.
    - Убедитесь, что данные были записаны корректно и без помех.
  5. Остановка сбора данных:
    - Проверьте, что данные записаны и сохранены.

**Важные моменты**

1. Убедитесь, что данные собираются в условиях минимальных помех и движений.
2. Проведите предварительное тестирование, чтобы убедиться, что данные записываются корректно.
3. Конфиденциальность данных сохраняется.

В настоящем исследовании мы использовали данные о пациентах с болезнью ХОБЛ, предоставленные коллегами из Волгоградского государственного медицинского университета. Эти данные получены в соответствии с медицинскими стандартами конфиденциальности и с согласия участников исследования, что гарантирует их этичность и надежность в контексте нашего исследования. Аналогично, мы получили доступ к данным пациентов, имеющих проблемы с функцией верхних конечностей, предоставленным также нашими коллегами.

Собрано более 200 записей по каждому из типов дыхания и места сбора данных. Всего датасет насчитывает 4400 записей как людей, имеющих проблемы с дыханием, так и полностью здоровых.

Также были предоставлены данные 1400 тестируемых, имеющих проблемы с функцией верхних конечностей.

Формат данных для обучения представляется в виде трех основных параметров, схематично данные с гироскопа и акселерометра представлены на рисунке 2: ускорение в трех осях (ось X, Y, Z) от акселерометра и скорость вращения вокруг этих осей (также по трём направлениям) от гироскопа, добавляя место сбора данных (грудь, живот) пометку класса (здоровый, есть отклонения от нормы) и типа дыхания (брюшное, грудное, смешанное). Пример формата данных представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Формат данных в базе данных

x	y	z	FixingPoint	SensorType	Class
0.52	-0.32	0.72	chest-thor	ACC	deviation
0.9	-0.1	9.78	belly-mixed	GYRO	norm
...	...	...	...	...	...

**Выбор модели**

При выборе модели мы остановились на линейном SVM по нескольким причинам:

1. SVM хорошо работает на данных с высокой размерностью, что характерно для данных с акселерометра и гироскопа. Он способен обрабатывать большое количество признаков и находить оптимальную разделяющую гиперплоскость между классами.
2. SVM хорошо работает с данными относительно небольшого объема.
3. Алгоритм SVM максимизирует разделяющую полосу, которая, как подушка безопасности, позволяет уменьшить количество ошибок классификации.
4. SVM является устойчивым к шуму в данных, что полезно в случае наличия шума в сигналах от акселерометра и гироскопа.
5. SVM может быть использован для классификации нелинейных данных, что полезно в случае нелинейных зависимостей между типом дыхания и данными от акселерометра и гироскопа.
6. SVM имеет хорошую обобщающую способность, то есть он может хорошо работать на новых данных, не участвовавших в процессе обучения. Это особенно важно для задач классификации заболеваний, поскольку точность и обобщающая способность модели играют критическую роль [5, 6].

Для задачи реабилитации людей с проблемами функции верхних конечностей было решено применить метод Dynamic Time Warping (DTW).

DTW является методом, который позволяет сравнивать и анализировать временные ряды различной длины, выявляя их сходство путем динамического выравнивания последовательностей данных. В контексте реабилитации людей с проблемами подвижности верх-

них конечностей DTW может быть использован для анализа движений и поз, регистрируемых акселерометром и гироскопом, что помогает в мониторинге и коррекции двигательных навыков [7].

Мы выбрали этот метод по нескольким причинам:

1. Универсальность: DTW эффективен для сравнения динамических движений и позволяет учесть возможные задержки и различия в скорости выполнения команд.
2. Способность к адаптации: DTW позволяет адаптироваться к вариациям в движениях, что важно для реабилитационных задач, где пациенты могут иметь разные темпы и стили движения.
3. Точность: Метод DTW точно вычисляет подобие между временными рядами, что важно для определения изменений в дыхательной динамике и движениях верхних конечностей.

При выборе упражнений для реабилитации мы в первую очередь остановили своё внимание на восстановлении двигательной функции, уменьшении спастичности, устранении болевого синдрома и контрактур. Поэтому выбрали упражнения на растяжение и укрепление мышц верхних конечностей, а также упражнения, направленные на восстановление координации и равновесия, такие как поднятие рук вверх перед собой, поднятие рук вверх через сторону, махи руками и круговые вращения в плечевых суставах. Схематичное выполнение упражнений представлено на 3 рисунке.

**Реализация метода**

Прежде чем обучить модель необходимо преобразовать данные, а именно:

1. Нужно провести нормализацию входного ускорения по времени, основанную на угле вращения и ускорении. На каждом временном шаге нужно вычислить угол вращения оси, зависящий от те-

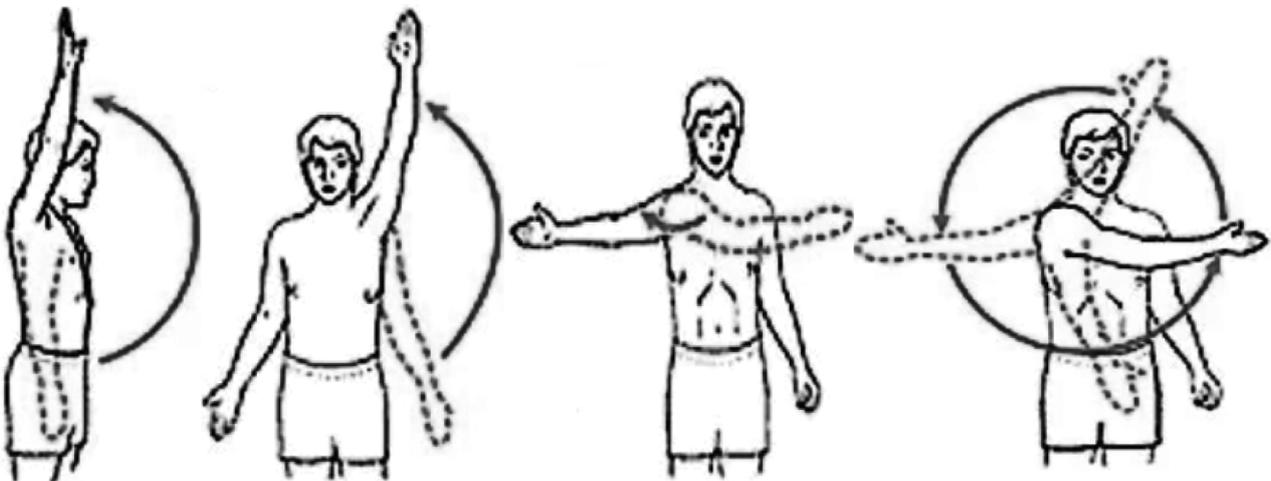


Рис. 3. методика выполнения упражнений

кущего и предыдущего ускорения, затем нормализовать каждую компоненту ускорения по этому углу. Нормализация разбивается на два этапа: вычисление угла вращения (1) и нормализацию компонент ускорения (2). Эти шаги направлены на нормализацию входного ускорения по углу вращения.

$$\theta_t = \cos^{-1}(a_t^* a_{t-1}), \quad (1)$$

где  $a$  — линейное ускорение,  $\theta_t$  — угол вращения оси во времени.

$$\begin{aligned} a_{xt} &= a_x * \theta_t \\ a_{yt} &= a_y * \theta_t, \\ a_{zt} &= a_z * \theta_t \end{aligned} \quad (2)$$

где  $a$  — компонент ускорения по времени.

2. Применить функцию окна Хэмминга (3) к нормализованному сигналу, чтобы уменьшить искажения, вызванные краевыми эффектами. Определить длину окна Хэмминга, зависящую от частоты дискретизации сигнала и ширины требуемой полосы пропускания. Для применения окна Хэмминга к нормализованному сигналу можно просто умножить каждый элемент сигнала на соответствующее значение окна (4). Это поэлементное умножение действует как весовая функция, снижающая влияние краевых эффектов и помогающая смягчить переходы между значениями сигнала.

$$w_n = 0,54 - 0,46 * \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right), \quad (3)$$

где  $n$  — номер отсчета,  $N$  — длина окна.

$$y_n = w_n * x_n, \quad (4)$$

где  $x_n$  — нормализованный сигнал.

Для обучения модели был использован алгоритм обучения Soft Margin SVM — метод обучения для построения оптимальной разделяющей гиперплоскости между двумя классами данных с учетом возможного шума и выбросов.

Была использована библиотека scikit-learn в среде разработки Jupyter и DataSpell для реализации алгоритма Soft Margin SVM с выбранным ядром Radial Basis Function (RBF), подходящим для задач классификации [8].

Оптимизация параметров алгоритма Soft Margin SVM проводилась с использованием метода кросс-валидации для определения оптимальных значений параметров  $C$  (контролирует trade-off между шириной margins и ошибкой классификации) и  $\gamma$  (влияние ядра на результаты классификации). Для этой цели использовался grid search с диапазонами значений  $C = [0.1, 10]$  и  $\gamma = [0.1, 10]$ .

Мобильное приложение разработано на Kotlin с использованием архитектуры Model-View-ViewModel (MVVM). Для работы с версткой и хранением данных был использован ряд библиотек Jetpack [9]. Диаграмма реализации метода представлена на рисунке 4.

Приложение состоит из ряда окон:

1. Стартовый экран.
2. Экран сбора данных по дыханию и получения результата анализа по полученным данным.
3. Экран сбора данных по движению верхних конечностей и получения результата анализа по полученным данным.
4. Экран просмотра собранных данных.
5. Экран настройки приложения [10, 11].

Изображения всех экранных форм представлены на рисунке 5.

Диаграмма классов приложения изображена на рисунке 6.

## Результаты и тестирование

В конце нашего исследования мы сосредоточились на тестировании мобильной программы. Наша цель — не только применить эффективный метод дыхательного анализа и реабилитации, но и оценить уровень человеко-компьютерного взаимодействия в этом контексте.

Наша методология начиналась с детальной подготовки участников, которым были предоставлены инструкции по установке приложения и правильному использованию устройства для измерения дыхания.

После установки приложения участники дали доступ к датчикам акселерометра и гироскопа. Затем последовал этап обучения, в рамках которого проводились краткие сессии, на которых участникам представлялись базовые навыки дыхательной гимнастики и техники выполнения реабилитационных упражнений, необходимые для точных измерений [12].

Ключевой этап нашего исследования включал два эксперимента:

1. Мы оценивали точность дыхательного анализа, где участники выполняли специально разработанные наборы дыхательных упражнений, позволяющие оценить эффективность программы. В результате мы обнаружили, что программа демонстрирует высокую степень точности в измерении показателей дыхания, хотя некоторые ошибки связаны с некачественными вводимыми данными.
2. Во втором эксперименте мы фокусировались на реабилитации функций верхних конечностей.

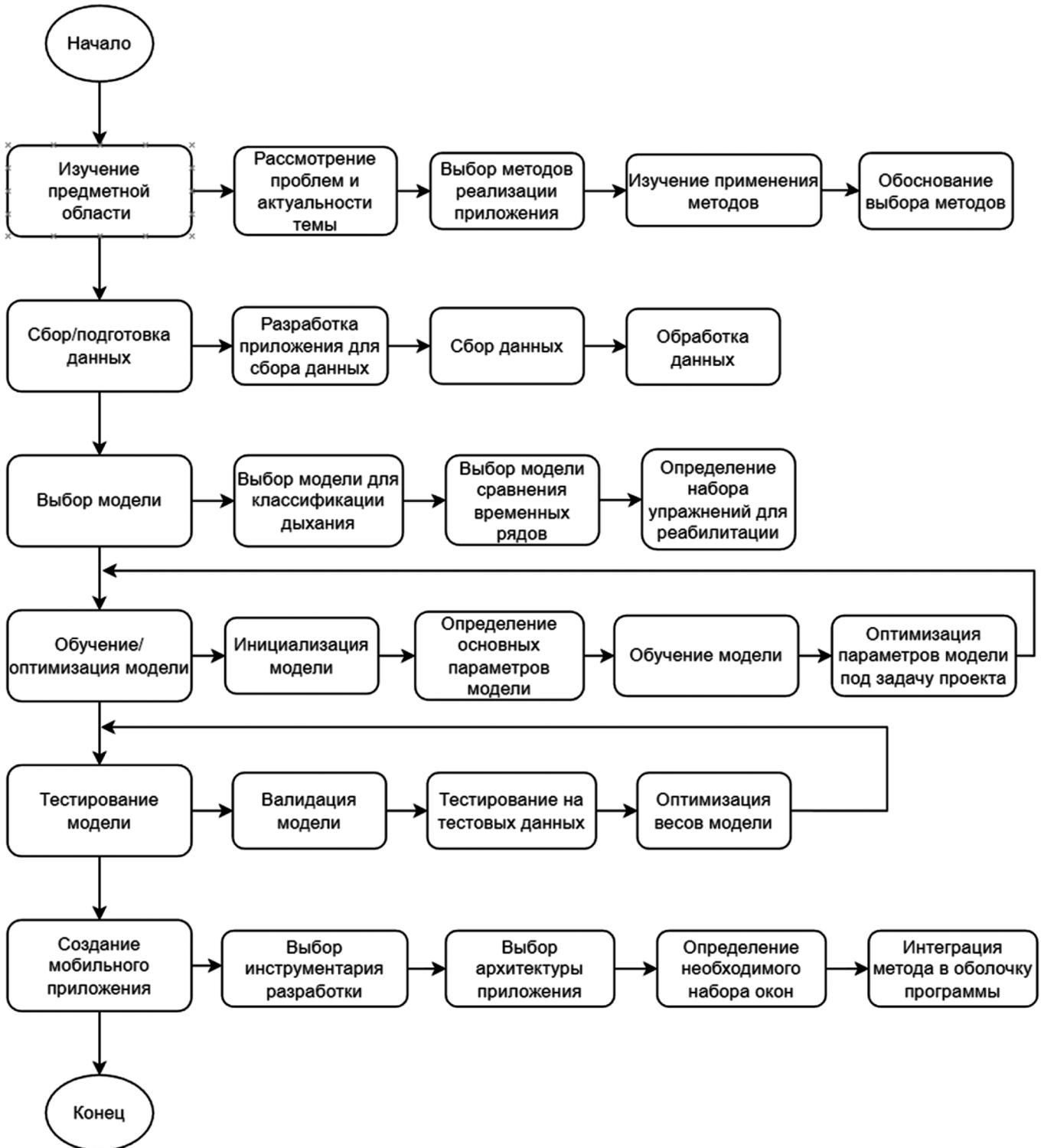


Рис. 4. Диаграмма реализации подхода

Во время выполнения упражнений участники получали обратную связь от программы о точности выполнения движений. Эта моментальная обратная связь помогала корректировать паттерны движений и повышать эффективность упражнений. Кроме того, процесс был документирован, что позволяло как участникам, так и медицинско-

му персоналу отслеживать прогресс и корректировать программу в зависимости от индивидуальных потребностей пациентов.

После использования приложения участники делились обратной связью, отмечая интуитивно понятный интерфейс и удобство взаимодействия. Однако ответы

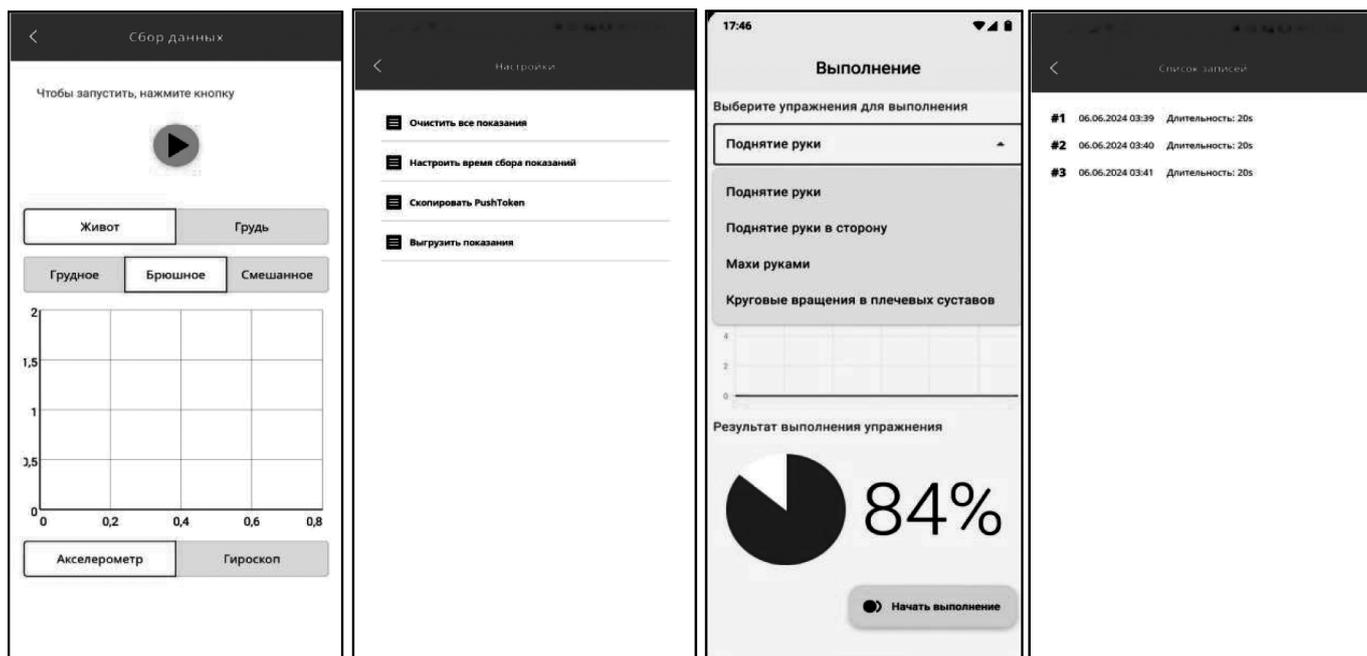


Рис. 5. Экранные формы приложения

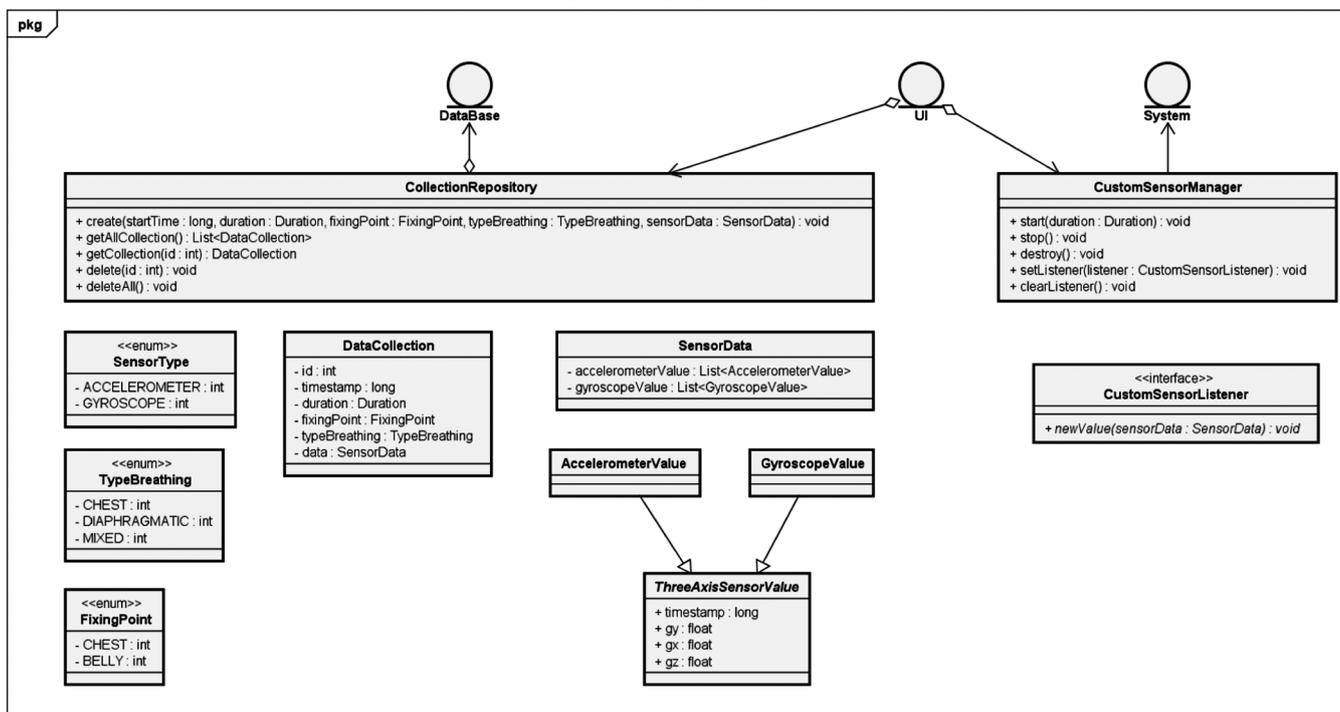


Рис. 6. Диаграмма классов приложения

также подчеркивали необходимость более четких инструкций и возможности настройки параметров для улучшения общего опыта использования приложения.

### Заключение

В данной работе мы разработали и протестировали комплексный подход к анализу дыхательной динамики и человеко-компьютерному взаимодействию с использованием акселерометра и гироскопа. Наш метод осно-

ван на применении разнообразных упражнений, специально разработанных для восстановления двигательных функций верхних конечностей, и использует мобильное приложение для сбора данных и обратной связи.

Результаты нашего исследования показали, что наша методология может эффективно анализировать дыхательную динамику и движения верхних конечностей, а также обеспечивать высокую степень точности в измерении показателей дыхания. Кроме того, наша програм-

ма может помочь в реабилитации функций верхних конечностей, обеспечивая моментальную обратную связь и коррекцию паттернов движений.

Наша работа имеет важное значение для разработки новых методов диагностики и реабилитации заболеваний дыхательной системы и верхних конечностей. Мы надеемся, что наша методология будет полезной для медицинских специалистов и пациентов, страдающих от таких заболеваний.

Кроме того, данное исследование подчеркивает важность междисциплинарного подхода, объединяющего знания из области биомедицинской инженерии, ком-

пьютерной науки и статистики. Мы надеемся, что наша работа будет иметь положительное влияние на развитие технологий в области здравоохранения и улучшения качества жизни человека.

В будущих исследованиях мы планируем расширить наши методы и алгоритмы для анализа дыхательной динамики и реабилитации функций верхних конечностей, а также улучшить мобильное приложение для сбора данных и обратной связи. Мы также планируем провести более масштабные испытания нашей методологии на больших группах населения, чтобы подтвердить ее эффективность и надежность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скворцова В.И. Эпидемиология инсульта в Российской Федерации // *Consilium Medicum*, Приложение. — 2005. — № 1. — С. 10–12.
2. Немеров Е.В., Языков К.Г., Берестнева О.Г., Жаркова О.С. Анализ темпоральных событий у больных бронхиальной астмой // *Информационные и математические технологии в науке и управлении: труды XX Байкальской Всероссийской конференции и Школы-семинара научной молодежи*. — Иркутск, 30 Июня — 7 Июля 2015. — Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. — Т. 3. — С. 241–246.
3. Титов Ю.Н. Математическая модель органа слуха для автоматического распознавания речи // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. — 2007. — № 37. — С. 307–310.
4. Гмурман В.Е. Корреляционный анализ Теория вероятностей и математическая статистика // *Учебное пособие для вузов*. — 10-е издание, стереотипное. — Москва: Высшая школа, 2004. — 479 с.
5. Барский А.Б. Нейронные сети: Распознавание, управление, принятие решений // М.: Финансы и статистика, 2004. — 354 с.
6. Spieth P.M. Analyzing lung crackle sounds: Stethoscopes and beyond // *Intensive Care Med*. — 2011. — Vol. 37. — P. 1238–1239.
7. Новиков Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов // СПб.: Модус, 1999. — 152 с.
8. Kizilaslan R. Combination neural networks forecasters for monthly natural gas consumption prediction // *Neural Network World*. — 2009. — Vol. 19, № 2. — P. 191–199.
9. Yeşiner M. Feature extraction for pulmonary crackle representation via wavelet networks // *Applied Signal Processing*. — 2009. — Vol. 39. — P. 713–721.
10. Берестнева О.Г., Немеров Е.В., Языков К.Г., Фокин В.А., Карпенко П.В., Бурцева А.Л. Проблемы формирования базы знаний психогенных форм бронхиальной астмы // *Конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям (IS-IT'14): труды конгресса*. — Дивноморское, 2–9 Сентября 2014. — М.: Физматлит, 2014. — Т. 2. — С. 250–252.

© Гуляев Иван Владимирович (aioki@outlook.com); Курляк Дмитрий Владимирович;  
Шабанова Ирина Николаевна (shabanovaira34@outlook.com); Зубков Александр Владимирович (zubkov.alexander.v@gmail.com);  
Печенов Иван Павлович (vavilongromov@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ СЕТЕВОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ

## DEVELOPMENT OF A VISUALIZATION TOOL FOR NETWORK ANALYSIS OF EARTHQUAKE DATA IN THE BAIKAL RIFT ZONE

**D. Zelenkov  
A. Trufanov**

*Summary.* The article presents a newly developed tool for visual support in network research of natural systems, exemplified by the study of earthquakes in the Baikal rift zone. The requirements for the software product are formulated based on the characteristics of natural systems. Criteria for reviewing visualization tools have been defined. The tool is a web application developed using the «deck.gl» platform. Earthquake data have been declustered into main shocks with an energy class of  $K \geq 14$  and their aftershocks and are presented in the form of graphs, using a stem network model. Possible directions for the further development of the software product are also considered.

*Keywords:* stem networks, Baikal rift zone, seismicity, aftershocks, visualization, web-application, deck.gl.

**Зеленков Дмитрий Витальевич**

аспирант, Иркутский национальный  
исследовательский технический университет  
zelen.draks@mail.ru

**Труфанов Андрей Иванович**

старший научный сотрудник, кандидат физико-  
математических наук, Иркутский национальный  
исследовательский технический университет  
troufan@gmail.com

*Аннотация.* В данной статье представлен новый инструмент для визуального анализа сетевых исследований экосистем, демонстрируемый на примере изучения землетрясений в районе Байкальского рифта. Описаны специфические требования к данному программному обеспечению, которые были выведены на основе характеристик экологических систем. Установлены стандарты для оценки инструментов визуализации данных. Разработанное web-приложение основано на технологии «deck.gl». Информация о землетрясениях была проанализирована и разделена на основные удары с энергетическим классом не менее  $K \geq 14$  и последующие афтершоки, которые визуализированы в форме сетевых графов с применением модели стволовой сети. Также рассмотрены направления для дальнейшего усовершенствования программного продукта.

*Ключевые слова:* стволовые сети, Байкальская рифтовая зона, сейсмичность, афтершоки, визуализация, веб-приложение, deck.gl.

## Введение

Использование сетевых графов в исследованиях предоставляет мощный инструментарий для визуализации и анализа взаимосвязей и взаимодействий между различными элементами, позволяя выявлять тенденции и закономерности в сложных структурах. Этот подход широко применяется в разнообразных сферах, включая планирование и управление транспортом, логистику, оптимизацию производственных цепочек, анализ социальных сетей и больших данных, исследования в области биоинформатики и генетики, а также в управлении компьютерными сетями. В статье уделено внимание применению сетевого анализа для изучения природной системы.

### 1. Постановка задачи

#### 1.1. Описание предметной области

Экосистема обычно определяется как географически ограниченное сообщество организмов, взаимодействующих друг с другом и с окружающей их неорганической

средой, что приводит к циклу энергии и обмену веществами, создавая уникальные закономерности и процессы [1]. Экосистемы подвержены воздействию множества различных факторов, которые классифицируются как абиотические (неорганические), биотические (органические) и антропогенные (связанные с деятельностью человека). Для глубокого понимания и мониторинга этих сложных взаимодействий, представление экосистем в виде сетевых структур и их визуализация с помощью графов может быть чрезвычайно полезным [2]. Это позволяет не только наблюдать за текущим состоянием системы, но и прогнозировать возможные изменения, вызванные различными внешними и внутренними факторами, а также оценивать потенциальное влияние человеческой активности на природные процессы.

#### 1.2. Определение проблемы

В ходе исследования не было найдено ни одного существующего программного решения, способного адекватно отображать данные в формате графов с учетом разнообразных факторов, воздействующих на экосистему [2], которые могут не иметь прямых связей, а также

с возможностью интеграции и представления этих данных на географической карте. В связи с этим возникла необходимость создания уникального инструмента визуализации, который бы соответствовал всем этим требованиям и позволял бы эффективно анализировать и интерпретировать сложные данные, связанные с природными системами. Дополнительно, такой инструмент мог бы включать функции для прогнозирования изменений в системе и оценки влияния различных факторов, что сделало бы его неоценимым ресурсом для исследователей и экологов.

## 2. Разработка средства визуализации

### 2.1. Выбор модели

Для более наглядного представления данных, было предложено применить концепцию модели стволовой сети. Эта модель включает в себя следующие элементы:

Стволы — это узлы сети, которые обладают различными характеристиками и соединениями.

Клумбы — это группы стволов, объединённые общим происхождением (см. рисунок 1).

Букеты — это ансамбли стволов различного происхождения, которые сгруппированы в соответствии с определённым критерием (см. рисунок 2).

Таким образом, модель стволовой сети представляет собой структурированную систему, где каждый элемент выполняет свою роль и взаимодействует с другими для формирования целостного изображения. Это позволяет упростить процесс визуализации сложных данных и облегчить их анализ.

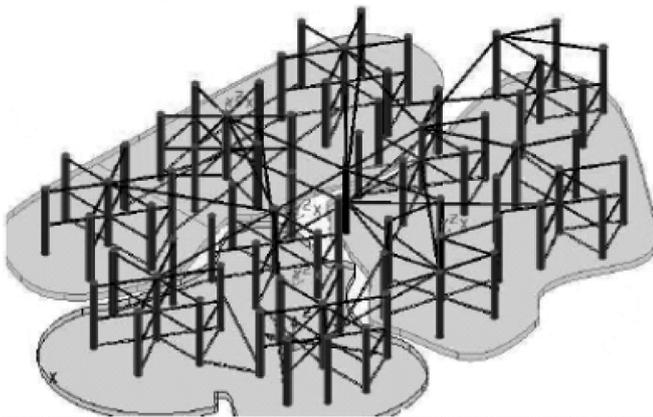


Рис. 1. Клумба стволовой сети

### 2.2. Выбор инструментов разработки

В ходе исследования была проведена оценка различных инструментов для визуализации графовых структур в формате стволовых сетей. Основываясь на установлен-

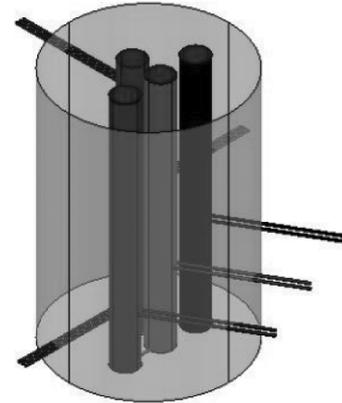


Рис. 2. Букет стволовой сети

ных параметрах, были определены ключевые критерии для выбора подходящих инструментов, включая способность к отображению мультиплексных систем, поддержку трехмерной визуализации и возможности для модификации и расширения функционала программы.

После тщательного анализа было принято решение разработать веб-приложение с использованием платформы «deck.gl». Этот инструмент обеспечивает создание объемных моделей на основе географических карт, а также эффективную обработку больших объемов данных. «deck.gl» предоставляет гибкие возможности для интеграции с другими библиотеками и инструментами, что делает его идеальным выбором для создания масштабируемых и адаптивных визуализаций [4].

### 2.3. Основные результаты

В рамках исследования методов визуализации данных о природных процессах были использованы данные о сейсмической активности Байкальской рифтовой зоны, предоставленные Байкальским филиалом ФГБУН ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», начиная с 1960 года [5]. Эти данные послужили основой для создания модели стволовой сети, которая позволяет наглядно представить сейсмические события в регионе.

В процессе обработки данных была выполнена декластеризация, выделяющая основные сейсмические толчки с энергетическим классом  $K \geq 14$  и связанные с ними афтершоки [6]. Это позволило установить временные связи между основными толчками, а также предоставило возможность фильтрации данных по времени событий (см. рисунок 3–4).

Дополнительно, стоит отметить, что Байкальская рифтовая зона является одной из самых крупных и активных тектонических структур на территории России, простирающейся на около 2000 км [7]. Зона характеризуется высокой сейсмической активностью и наличием глубоких разломов, что делает её важным объектом для изучения сейсмических процессов.

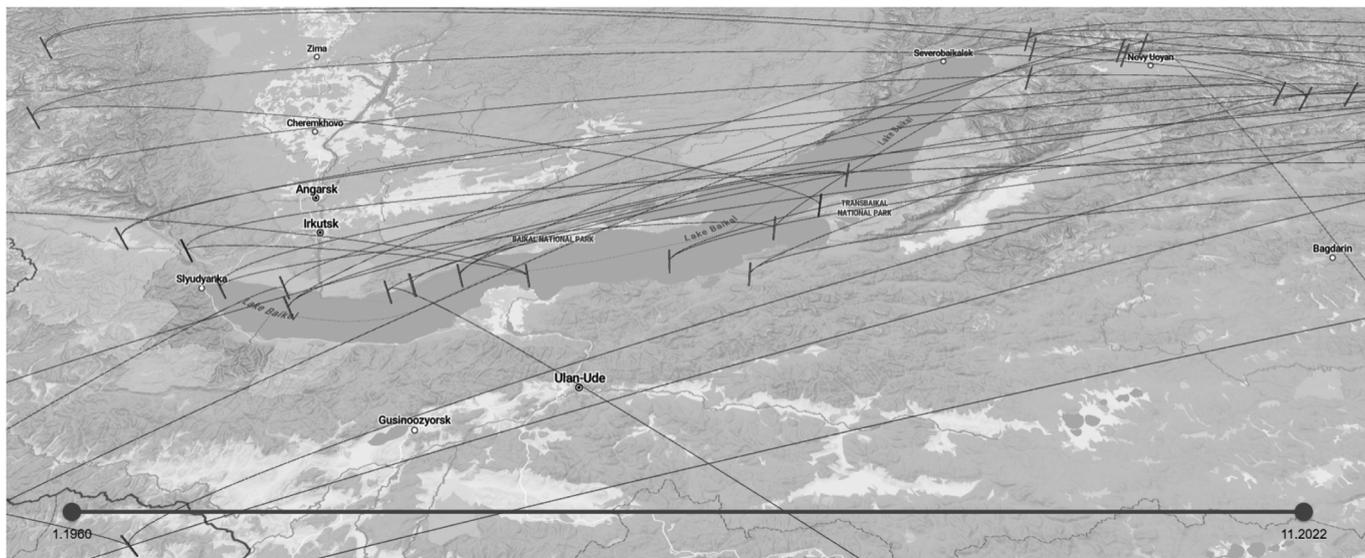


Рис. 3. Толчки с энергетическим классом  $K \geq 14$  с 1960 года

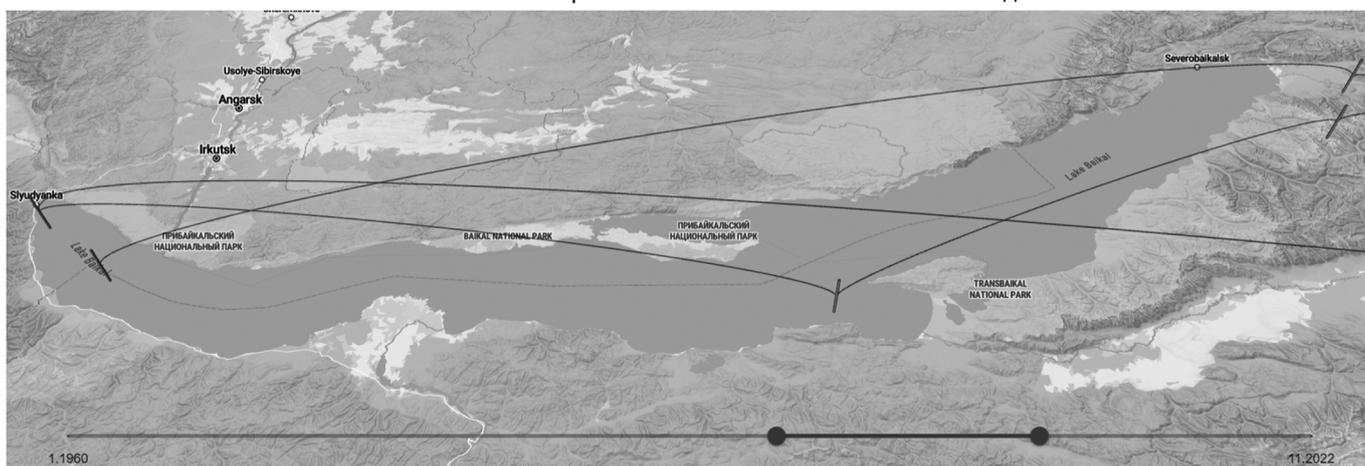


Рис. 4. Толчки с энергетическим классом  $K \geq 14$  отфильтрованные по времени

Используя интерфейс, при наведении указателя мыши на элемент, изображающий «ствол», можно получить развернутые сведения о конкретном событии, включая его дату, магнитуду и точные координаты (см. рисунок 5). Когда пользователь выбирает определенное сейсмическое событие, оно, а также его связи, подсве-



Рис. 5. Отображение детальной информации о событии

чаются уникальным цветом для лучшей визуализации (см. рисунок 6). Это обеспечивает более интуитивное понимание масштабов и взаимосвязей сейсмической активности в изучаемом регионе.

Дополнительно, система предоставляет подробную информацию о последующих афтершоках [8]. Это позволяет пользователям получить более глубокое понимание о характере и последствиях первоначального толчка (см. рисунок 7).

Данные функции визуализации помогают исследователям отслеживать последовательность событий и афтершоков, их магнитуду и распределение во времени и пространстве. Такой подход может быть особенно полезен для оценки рисков и планирования мер по предотвращению и минимизации последствий будущих землетрясений.

### Заключение

Разработанная модель стволовой сети и инструмент визуализации обеспечивают эффективное представ-

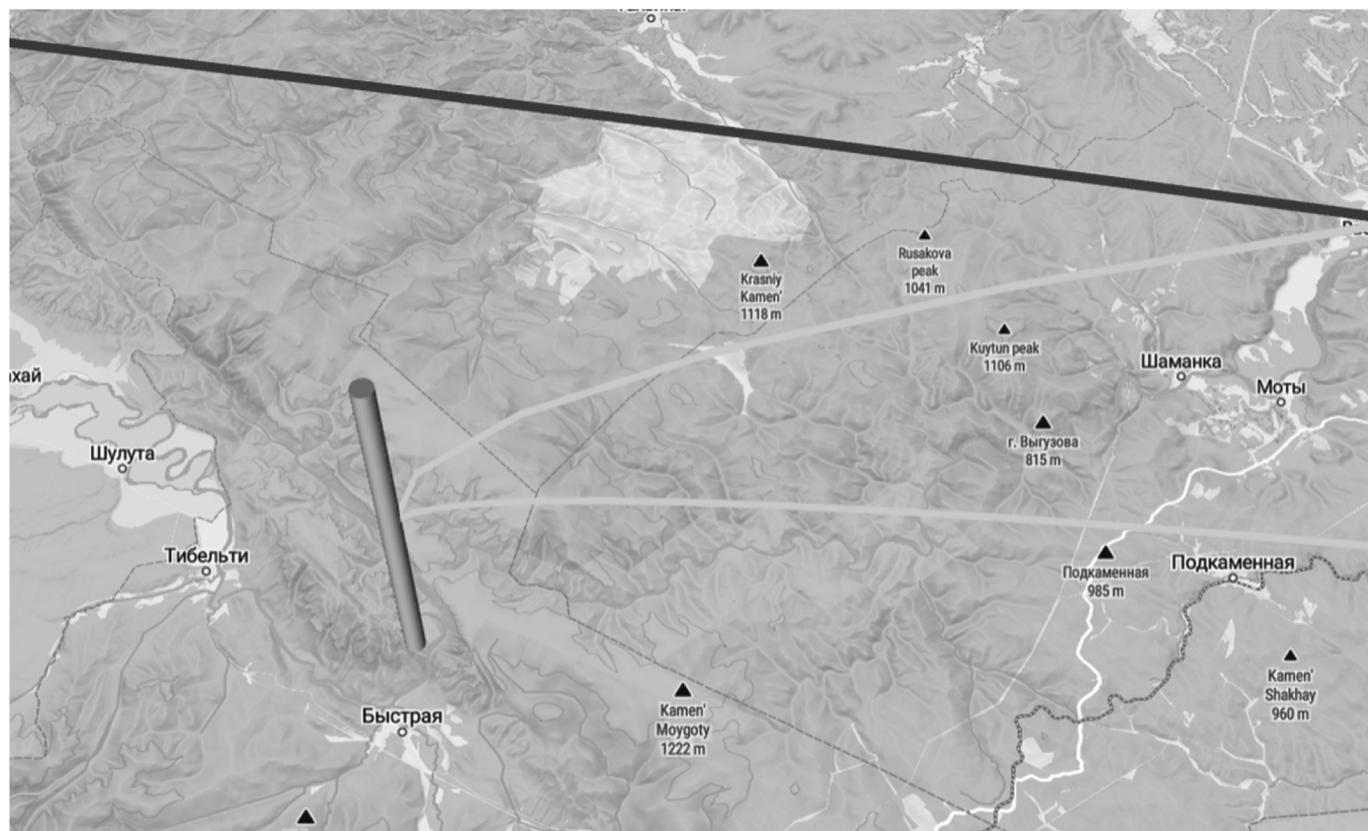


Рис. 6. Подсвечивание выбранного события и его связей уникальным цветом

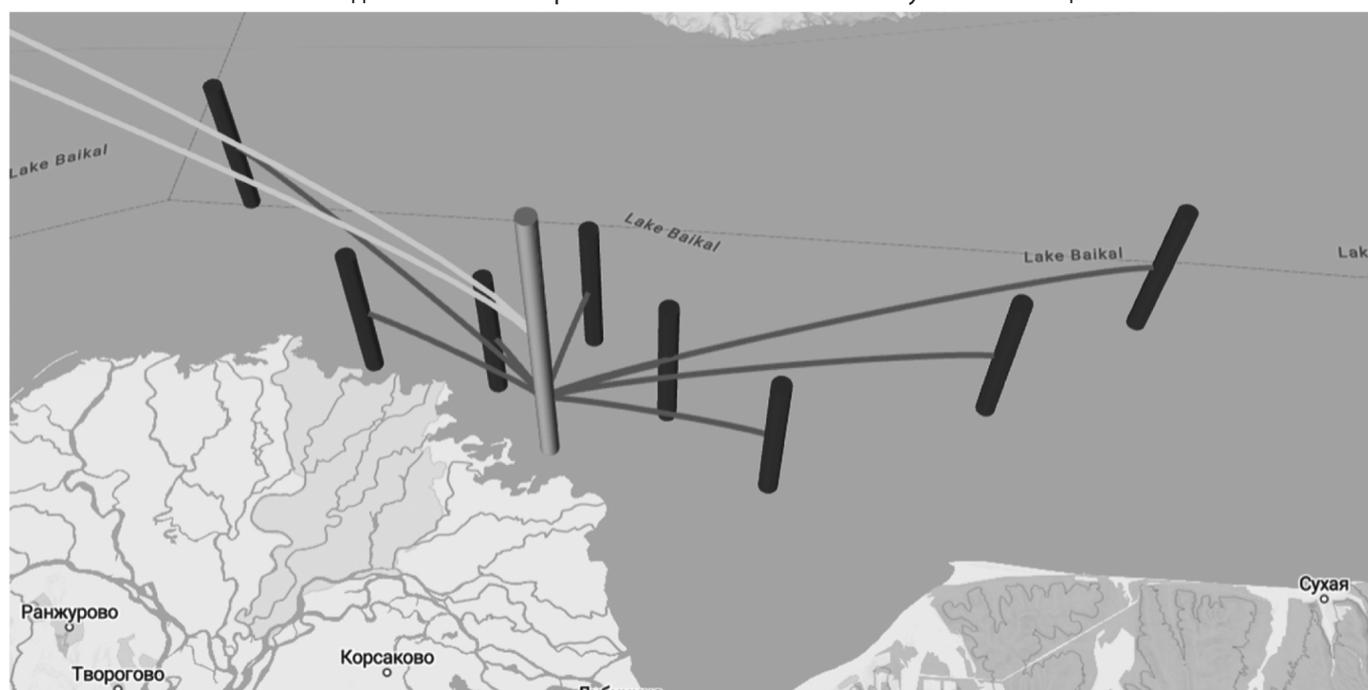


Рис. 7. Афтершоки для события

ление данных о природных системах, что значительно упрощает процесс их анализа и выявления общих тенденций. В будущем планируется расширение функционала программного обеспечения для включения возможности визуализации разнородных данных, которые

не связаны напрямую, в форме «букетов». Кроме того, будет реализована функция группировки данных по общим характеристикам в «клумбы», такие как рои землетрясений.

Дополнительно, новые функции позволят пользователям не только наблюдать за отдельными явлениями, но и анализировать их взаимосвязи и влияние друг на друга. Например, будет возможно сравнивать сейсмическую активность различных регионов или отслеживать изменения в экосистемах в зависимости

от внешних факторов. Это сделает инструмент ещё более ценным для исследователей и специалистов, работающих с большими объемами сложных данных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта № 20-57-44002.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Письмо Роскомзема от 18.01.1996 N 3–15/104 «О рассмотрении методического положения и руководства по составлению карт, оценке затопления и подтопления земель».
2. Сиротюк Э.А., Гунина Г.Н. Общая экология: учебное пособие / Э.А. Сиротюк, Г.Н. Гунина; Изд-во МГТУ, 2019. — 163 с.
3. Z. Ashurova., S. Myeong, A. Tikhomirov, A. Trufanov, N. Kinash, O. Berestneva, A. Rossodivita. «Comprehensive Mega Network (CMN) Platform: Korea MTS Governance for CIS Case Study». Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM 2016). Atlantis Press, 2 016, pp. 266–269.
4. Home |deck.gl. URL: <https://deck.gl/> (дата обращения: 13.05.2023).
5. Землетрясения в Прибайкалье | Сайт Байкальского филиала Единой геофизической службы РАН. URL: <https://seis-bykl.ru/modules.php?name=Data&tbl=1&d=2022-01-01&maxd=2022-12-31&sh=48.00&maxsh=60.00&dl=99.00&maxdl=122.00&k=8.6&maxk=17.5> (дата обращения: 17.03.2023).
6. Радзиминович Н.А., Очковская М.Г. Выделение афтершоковых и роевых последовательностей землетрясений байкальской рифтовой зоны. Геодинамика и тектонофизика. 2013;4(2), 169–186 с.
7. С.В. Баранов, П.Н. Шебалин, Закономерности постсейсмических процессов и прогноз опасности сильных афтершоков, М.: РАН, 2019. — 218 с.
8. В.Е. Хаин Байкальская рифтовая система, Большая российская энциклопедия, 2005. — 662 с.

---

© Зеленков Дмитрий Витальевич (zelen.draks@mail.ru); Труфанов Андрей Иванович (troufan@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РАЗРАБОТКА АНАЛИТИКО-ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ И ФЕЙКОВЫХ ТЕКСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

## DEVELOPMENT OF SOFTWARE SYSTEM FOR SECURITY ASSURANCE BASED ON AUTOMATIC DETECTION OF ANOMALIES AND FAKE TEXTS USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS

*M. Zolotukhina*

*Summary.* The anomaly detection system in text data, developed using modern technologies and algorithms, is an innovative approach to identifying hidden threats, including fake text data in various information sources. The development plays a key role in ensuring the national security of the state, offering innovative methods for detecting and preventing fake data in the digital sphere. The project covers a wide range of threats, including phishing attacks, disinformation, and data leaks. The unique method of this system includes an in-depth analysis of textual features to identify the characteristic features and patterns inherent in fake or manipulated texts. The effectiveness of the system is ensured using an ML model learning algorithm, which ensures the accurate identification of entities indicating the fake nature of the text. The integration of the system with corporate information systems allows the analysis of data from various sources, including websites, social media, and many others. This approach is an integral component for ensuring a high level of protection of companies (organizations) from fraud and maintaining trust, which is of critical importance in the modern information environment. The development provides high adaptability to new threats and changes in text strategies, which makes it a powerful tool in an ever-changing environment to combat anomalies.

*Keywords:* ML algorithms, nlp tasks, anomalies, software, security, fake, autocorrelation, static analysis, EIS.

*Золотухина Мария Александровна*

*Аспирант,*

*МИРЭА Российский Технологический Университет*

*rtu\_mary@mail.ru*

*Аннотация.* Система обнаружения аномалий в текстовых данных, разработанная с использованием современных технологий и алгоритмов, представляет собой инновационный подход к выявлению скрытых угроз, включая фейковые текстовые данные в различных источниках информации. Разработка играет ключевую роль в обеспечении национальной безопасности государства, предлагая инновационные методы выявления и предотвращения фейковых данных в цифровой сфере. Проект охватывает широкий спектр угроз, включая фишинговые атаки, дезинформацию, утечку данных. Уникальный метод этой системы включает глубокий анализ текстовых признаков с целью выявления характерных особенностей и паттернов, свойственных фейковым или манипулированным текстам. Эффективность системы обеспечивается применением алгоритма обучения ML моделей, что обеспечивает точное выявление сущностей, указывающих на фейковый характер текста. Интеграция системы с корпоративными информационными системами позволяет проводить анализ данных из различных источников, включая веб-сайты, социальные медиа и мн. др. Данный подход является неотъемлемым компонентом для обеспечения высокого уровня защиты компаний (организаций) от мошенничества и поддержания доверия, что приобретает критическое значение в условиях современной информационной среды. Разработка предоставляет высокую адаптивность к новым угрозам и изменениям в текстовых стратегиях, что делает его мощным инструментом в постоянно меняющейся среде борьбы с аномалиями.

*Ключевые слова:* ML алгоритмы, nlp-задачи, аномалии, ПО, обеспечение безопасности, фейк, автокорреляция, статический анализ, КИС.

## Введение

Текстовые признаки идентифицирующие, себя как аномалии позволяют создать характеристику сообщения, главы книги или статьи, тем самым помогая обнаружить скрытые носимые угрозы. Под скрытыми угрозами подразумевается нанесение ущерба компании в контексте фишинговых писем, фейковых текстов и раскрытия конфиденциальной информации, т. е. потенциальные риски, которые могут оставаться незамеченными

или недооцененными, но при этом могут нанести серьезный ущерб репутации, финансам или бизнес-процессам компании. Скрытые угрозы могут возникать из-за различных факторов, и их выявление и управление являются важными задачами для компаний и предприятий [1].

Сама методика по обнаружению скрытых угроз в виде разработки системы для автоматического выявления аномалий и фейковых текстов дает возможность

управления скрытыми угрозами в организации. Фейковые тексты, созданные с целью навредить, могут вызвать различные проблемы и негативные последствия, а именно:

- Фейковые тексты искажают аналитические данные, которые компания использует для принятия стратегических решений. Следовательно, это влияет на качество анализа и, как следствие, на качество решений.
- Повышенная нагрузка на службу поддержки при отправке дополнительных запросов клиентов.
- Для борьбы с фейковыми рассылками компании могут потребоваться дополнительные затраты, расследования и противодействие мошенничеству.
- Мошеннические тексты оказывают воздействие на решения клиентов о сотрудничестве с организацией. Клиенты могут отказаться от услуг или продуктов компании, опираясь на дезинформацию.
- Несанкционированное раскрытие конфиденциальных данных организаций и частных лиц. Последствия — угроза личной конфиденциальности, потери репутации компаний, возможные правовые последствия.
- Фишинговые письма содержащие текстовые аномалии скрывают истинное предназначение и вводят в заблуждение, например пользователей почтовых аккаунтов.

Создать фейковый текст достаточно легко, но тяжелее его обнаружить и поэтому требуются сложные многофункциональные средства идентификации. Эффективный метод идентификации фейка включает в себя комбинацию нескольких методов и средств для максимальной точности и надежности. Данный способ является необходимым для анализа, который использует алгоритмы машинного обучения с разработанным модулем выявления нетипичных, необычных или аномальных текстовых данных среди большого объема нормальных данных. Это важный процесс в различных областях, включая безопасность информации, медицинскую диагностику, финансы и многие другие [2].

КИС и система для выявления фейковых текстов взаимодействуют таким образом, что позволяют компании обнаруживать и управлять фейковыми текстами в данных и на веб-сайтах. КИС интегрирует данные из различных источников, включая веб-сайты компании, онлайн-платформы, социальные медиа [3]. Эти данные затем передаются в ПО для анализа на признаки и составляющие аномалий.

### Материалы и методы

Для организации процесса предварительной работы по созданию данных и программы для анализа текстов с целью обеспечения безопасности на основе автоматического выявления аномалий и фейковых текстов был написан алгоритм выполняемых действий, показан в таблице 1. Это помогает структурировать этапы работы, определить необходимые параметры и задачи, а также обеспечивает лучшее понимание промежуточных работ, процессов разработки системы и анализа данных.

ческого выявления аномалий и фейковых текстов был написан алгоритм выполняемых действий, показан в таблице 1. Это помогает структурировать этапы работы, определить необходимые параметры и задачи, а также обеспечивает лучшее понимание промежуточных работ, процессов разработки системы и анализа данных.

Таблица 1.

Алгоритм предварительной работы создания данных и программы

Шаг	Действие	Параметры	Результаты
1	Загрузка данных из различных источников.	сайты, веб-приложения, социальные сети и т. д.	Набор данных для анализа
2	Предварительная обработка данных	Удаление ненужных символов и форматирование, реорганизация текста, уникальные значения	Обработанные данные для анализа
3	Создание датасета	Тексты с аномалиями, описания, сценарии, логические схемы, благоприятные и неблагоприятные события,	Датасет с пометками рейтинговой системой, анализ
4	Поиск уникальных характеристик и кластеризация	Применение алгоритма кластеризации к найденным параметрам	Кластеры общих характеристик текстов
5	Определение цели программы и выбор технологий	описание цели программы, выбор языка программирования и алгоритма машинного обучения. Применение алгоритма обучения.	Цель программы: обнаружение аномалий и фейков в текстовых данных. Язык программирования: Python
6	Категории для обнаружения аномалий	Реорганизация текста по категориям:	Категории: тональность, эмоции, лексика, детализация
7	Анализ взаимосвязей и зависимостей	Применение методов машинного обучения и статистических методов	Аномалии выявлены
8	Исследование данных и дальнейший анализ	Анализ данных на предмет структуры, корреляций, зависимостей	Корреляции и зависимости выявлены, структура и характеристики текстов изучены
9	Результаты	Оценка результатов алгоритма.	Результаты оценены, намечена траектория для дальнейшего исследования.

Для корректного анализа текста из различных областей сайтов, веб-приложений и социальных сетей следует создать датасет состоящий из благоприятных и неблагоприятных описаний естественным языком и [4]. Датасет состоит из текстов с аномалиями, описаний, логических схем, написанных, интеллектуальным чатом, благоприятных и не благоприятных отзывов, написанных человеком, причем все данные помечены рейтинговой системой анализа. Проводится поиск уникальных характеристик для данного стиля создания текста. Он заключается в идентификации ключевых слов и терминов, которые часто встречаются, применение алгоритмов кластеризации по тематическим группам для выделения общих характеристик. Необходимо определить кластеры, фокусирующиеся на качестве описанного объекта естественным языком так, как они могут содержать определенные ключевые слова и фразы. Еще один датасет собирается для определения частей речи, который также оформляется в главную программу для распознавания аномалий в отзывах. Теперь соответственно требуется определить цель программы, на каком языке ее целесообразно писать и какие алгоритмы применять чтобы результат имел высокую точность идентификации.

#### Цель программы и выбор технологий

Цель программы обнаружить аномалии или несоответствия в тексте по найденным признакам, используемый язык Python имеет большое количество библиотек и фреймворков для алгоритмов машинного обучения и соответственно требуется найти алгоритм, который предоставит функции для сравнения, поиска и анализа составляющих текст.

Для обнаружения аномалий и признаков фейковых действий нужно реорганизовать текст по категориям [5]. А именно:

- Тональность текста — Позитивные аномалии, которые содержат чрезмерное количество положительных эпитетов и мало конкретных деталей.
- Использование эмоций — Текст, содержащий чрезмерное количество эмоций или неадекватно сильные выражения.
- Лексика и стиль — Нестандартное использование лексики, чрезмерная формальность или неестественность стиля.
- Детализация текста — Слишком детализированные или, наоборот, чрезмерно общие, могут быть подвергнуты сомнению.
- Синтаксис и грамматика — Тексты с явными нарушениями синтаксиса или грамматики могут быть аномальными.
- Временные аспекты — Сравнение временных аспектов в текстах, таких как слишком быстрые изменения тональности и др.
- Сравнение или приведение примера с другими текстами — Сравнение структуры и содержания

текста с другими о том же виде описываемом объекте поможет выявить аномалии.

- Длина — Крайне короткие или, наоборот, чрезмерно длинные являются подозрительными.
- Оценка качества, рейтинговая система — Если рейтинг на текст является несоразмерно большим, вероятнее всего здесь присутствует признак мошенничества или раскрытия данных, т. к. важно чтобы скрытые аномалии не привлекали внимание со стороны программ для обнаружения.

Отсутствие конструктивной критики означает, что в объекте исследования отсутствует содержательная, обоснованная критика или замечания, направленные на улучшение ситуации или продукта. Обычно конструктивная критика предполагает не просто указание на недостатки, но и предложение вариантов улучшения или рекомендации [6,7,8].

"Дорогой коллега,

Надеюсь, вы в порядке. Просто хотел поделиться новостью о нашем проекте. Вот ссылка на наш обновленный бизнес-план: [ссылка]

Буду рад услышать ваши мысли по этому поводу. С нетерпением жду обсуждения на следующей неделе.

С наилучшими пожеланиями!

Рис. 1. Пример исследуемого текста

На рис. 1 показан пример сообщения фишинговой рассылки, которая подвергается распределению по частям речи, частоте, количеству и кластерам для каждого анализируемого модуля используемые в качестве объекта исследования на корреляцию и автокорреляцию. Распределение данных осуществляется с помощью специально написанной программы на Python и конструктивной особенности Natural Language Toolkit(nltk), stopwords, pymorphy2 и т. д.

#### Метод анализа текстовых данных

Рассмотрим зачем применять анализ частей речи для обнаружения фейковых текстов. Данный анализ влияет на выявление аномалий среди писем в социальных сетях или рассылках, а именно: первая причина — это частота использования негативных слов и конструкций: NOUN (существительные), ADJF (прилагательные): если в тексте существенно увеличивается частота использования негативных существительных и прилагательных, следовательно, это указывает на попытку ухудшить восприятие. Далее синтаксическая сложность и структура предложений: CONJ (союзы), PRCL (частицы), ADVB (наречия): Аномалии в структуре предложений или частое использование союзов и частиц свидетельствуют о попытке искусственного улучшения впечатления или, наоборот, создания излишне сложных и запутанных текстов.

Частота использования глаголов и наречий: VERB (глаголы), ADVB (наречия): чрезмерное использование действенных глаголов и наречий служит признаком попытки создать в тексте ощущение активности или динамичности. Оценка синтаксической сложности: NOUN (существительные), VERB (глаголы), ADJF (прилагательные): фейковые тексты либо излишне сложные и длинные, чтобы внушить авторитетность, либо чрезмерно простые и короткие, чтобы не вызывать подозрений.

Частота и контекст использования этих частей речи варьируется в зависимости от специфики фейковой активности, и их анализ требует определенного контекста и подхода. Комбинация методов, таких как анализ сентимента, машинное обучение и статистические методы достаточно эффективны при выявлении аномалий в текстовых данных. Чтобы расширить границы анализа текста были добавлены в датасет данные, созданные интеллектуальным помощником, причем есть обязательная пометка кем написаны. Также для данного исследования включен модуль анализа текста по корреляционным и автокорреляционным результатам значений [9].

Подробное описание и разбор фейкового создания рассылки или текста используется для максимального использования конкретных деталей и более подробного анализа текстовой структуры. Данный разбор показывает необходимость умело оперировать мелкими и неточными фактами, чтобы сформировать правдоподобный текст. Пример фейковой рассылки показан на рисунке 1. Текст является фейковым и представляют собой удачную подделку, включающую в себя конкретные детали, тем самым создавая впечатление реальности. Примеры фейковых текстов для построения датасета были использованы из источника [10].

Данный анализ помог найти признаки определения аномалий, здесь представлены некоторые признаки из общего числа найденных, которые могут указывать на фейковую аномалию, такие:

- Присутствие критики: Утверждение о том, что наличие критики делает текст более приближенным к настоящему, является признаком, того, что автор старается создать впечатление реальности, внедряя элементы негативной оценки.
- Решение проблемы: Указание на обязательность решения проблемы, даже маленькой, как признак поддельности, подчеркивает, что автор стремится создать сюжет с развитием, что не всегда характерно для настоящих отзывов.
- Разделение на части речи: Упоминание о разделении датасета на части речи может быть признаком структурированности текста, что не всегда характерно для естественной речи.
- Эмоциональная окраска: Использование слова «емко» в описании датасета подчеркивает стрем-

ление автора придать своим данным эмоциональную окраску, что характерно для выдуманных отзывов.

Такие данные позволяют провести качественный семантический анализ составляющих текстовую структуру информации. Информативный текст используется по структуре эмоционального состава, как положительные, отрицательные так и нейтральные, но все они могут быть неправдоподобные. Существует необходимость при анализе частей текста, при распределении текстовых данных и выявлении нетипичных или подозрительных паттернов использовать методы, основанные на частоте, распределении и статистике [11, 12]. Это позволит подготовить количественные и описательные характеристики для алгоритма машинного обучения.

	A	B	C	D	E
#	zak 1	col 1	chastota 1	chasti_rechi 1	cluster 1
	Компани	1	2,777778	NOUN	0
	отлично	1	7,407407	ADVB	0
	чуткое	1	3,703704	VERB	0
	высоте	1	2,777778	NOUN	0

Рис. 2. Пример обрабатываемых данных для статистического анализа

На рис. 2 показан пример характеристик для анализа текстовых данных. Каждое слово в строке помечено кластером, единый кластер относится к одному смысловому тексту. Колонка «col» показывает сколько раз использовалась часть речи в конкретном тексте. Количество таких данных только по модулю «Настоящие тексты» представляет 48127 значений, для остальных модулей 16679 и 17593 соответственно. Чтобы увеличить время обработки и представления данных в итоговом виде как на рис. 2 была реализована программа для расчета основных показателей и анализа ядра. Программа подготовлена на языке Python и имеет конструктив в виде nltk, pandas, stopwords, word\_tokenize, MorphAnalyzer. После приведения текстовых данных к табличному виду как показано на рисунке 2, далее необходимо подготовить еще одну программу для расчета корреляции между входными данными. На рис. 3 продемонстрированы слова, которые больше всего коррелируют, также показана частота появления слова в отзыве и связь с количеством слов.

### Поиск уникальных характеристик и кластеризация

Благодаря определению коэффициентов Спирмена и Пирсона были сформированы отдельные текстовые выдержки, где собраны количественные данные [13]. Здесь они не показаны, т. к. имеют еще более сложную структуру. Так колонки частота и кластеры обозначенных текстов, используемых в отдельном для этого тексте, показали, как монотонную зависимость, так и линейную корреляцию в одинаков исследуемых данных. Что по-

зволяет собрать достаточно мощную первоначальную картину объяснения признаков и аномалий для определения фейковых рассылок, текстов и информации, публикуемой злоумышленниками.

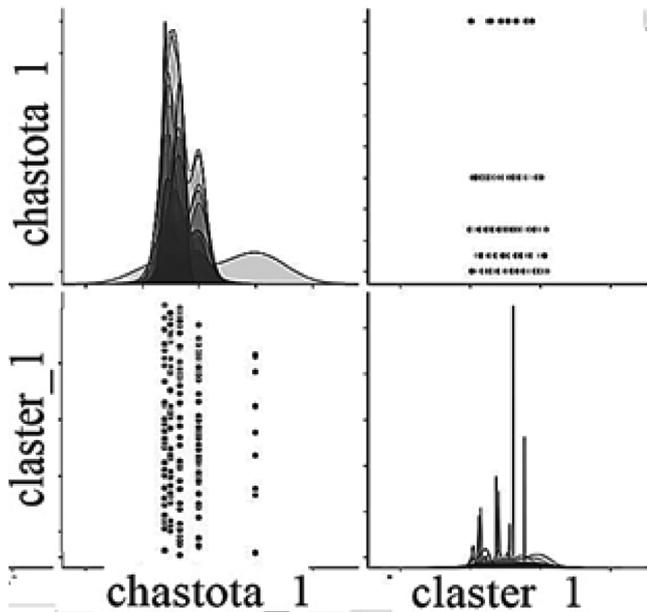


Рис. 3. Графики корреляции частоты и идентификатора кластера

Были выделены структуры, которые имеют больший вес для последующего исследования. После проведенного поиска зависимостей и получения новых данных для трех модулей проведен анализ в направлении применения автокорреляции этих модулей. Результаты, описание, а также категории показаны на рис. 4 и в таблице 2.

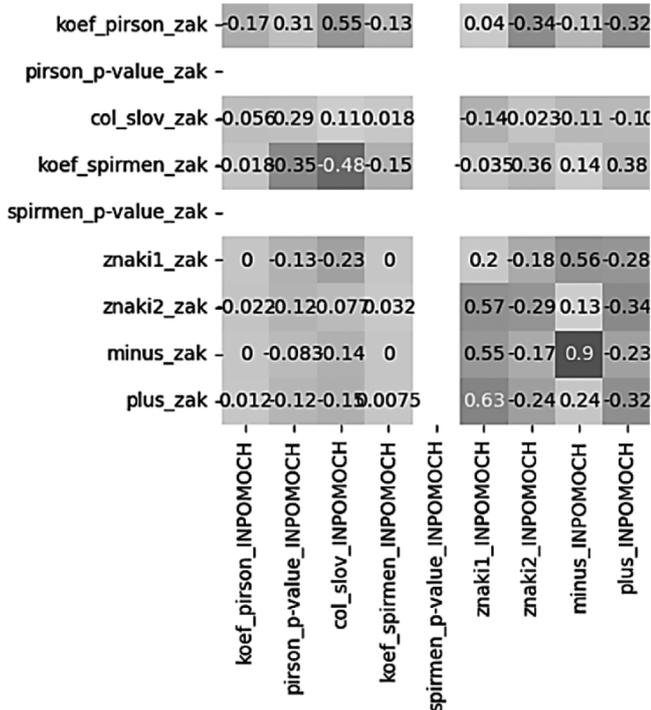


Рис. 4. График автокорреляции модулей

Результаты указывают на наличие внутренних зависимостей по всем определенным признакам. Автокорреляция, проведенная над числовыми значениями для модулей, показала признаки с корреляцией и позволила определить составляющие данных для качественного обучения модели, рис. 4. Выбраны характеристики, которые при анализе автокорреляции имели высокое значение и соответственно большую связь между ними, следовательно такие данные позволяют определить сценарий фейкового отзыва или рассылки и т.д. с точностью в 99 %. Данная схема в таблице 2 строиться для каждого сценария угрозы подаваемого на вход текста.

Таблица 2.

Исследование сценариев и паттернов

1	Корреляционный анализ	
1.1	Модель данных «Настоящие тексты»	
	Отрицательная корреляция	Выявлены отрицательные корреляции между коэффициентами Пирсона и Спирмена и некоторыми признаками.
	Влияние количества слов	Наблюдается влияние количества слов и некоторых эмоциональных показателей на коэффициенты корреляции.
	Отсутствие корреляции	-
1.2	Модель данных «Фейковые тексты»	
	Отрицательная корреляция	Наличие сильной отрицательной корреляции между коэффициентом Пирсона и количеством слов, указывающее на влияние длины текста на его характеристики.
	Влияние количества слов	-
	Отсутствие корреляции	-
1.3	Модель данных «генеративные тексты»	
	Отрицательная корреляция	Наблюдается сильная отрицательная корреляция между коэффициентами Пирсона и Спирмена с некоторыми признаками, что указывает на взаимосвязь между ними.
	Отсутствие корреляции	Отсутствие явных корреляций с показателями, такими как количество слов и знаки препинания.
	Влияние количества слов	-
2	Автокорреляция	
2.1	Модель данных «Настоящие тексты»	
	Внутренние зависимости	Внутренние зависимости, выявленные с использованием автокорреляции, могут предоставить дополнительные сведения о структуре отзывов.
2.2	Модель данных «Фейковые тексты»	

	Внутренние зависимости	Возможные внутренние закономерности, выявленные методом автокорреляции, могут служить основой для дальнейшего анализа и идентификации особенностей данного модуля.
2.3	Модель данных «генеративные тексты»	
	Внутренние зависимости	Наблюдаются внутренние зависимости между некоторыми признаками, указывает на наличие паттернов или структур внутри модуля.
3	Обнаружение аномалий и фейковых текстов	
3.1	Аномалии	Высокие значения коэффициентов корреляции.
		Необычное количество слов.
3.2	Фейковые тексты	Модели обнаружения аномалий выделяют информацию с необычными характеристиками.
		Сценарии фейковых текстов включают в себя попытки манипуляции структурой данных, изменение количества слов и корреляций между признаками.

Для выявления аномалий и фейковых текстов необходимо учитывать не только схему построения, но и внутренние взаимосвязи между характеристиками и их зависимостями. Дальнейший анализ и определение сценариев фейковых текстов требуют дополнительных исследований и экспертного анализа, для этого необходимо задействовать алгоритмы машинного обучения и структурное программирование [14].

### Результаты

Применение алгоритмов машинного обучения в новой интерпретации, созданной на основе соединения нескольких алгоритмов, позволяет определить инновационную стратегию поиска аномалий и скрытых признаков фейковых текстов. Для такого поиска потребуются исследовательские данные из п. Материалы и методы, алгоритмы, которые предполагают анализ признаков, имеющие сильные отличия в своих корреляционных коэффициентах или количестве слов, также изолированные составляющие аномалии в тексте. Чтобы такие аномалии определить с высокой точностью необходимо рассмотреть аномальные тексты, которые имеют высокие значения коэффициентов корреляции.

Недостаточно просто идентифицировать признак, следует прописать в алгоритме обнаружения сценарий, позволяющий описать характеристики таких текстов. Используя отклонения, которые были исследованы в прошлом пункте и показаны на рис. 3 и 4 можно найти определенные значения на основе аномалий для таких сценариев.

Например, количество восклицательных знаков — сценарий вида:

- Провокационных отзывов, которые содержат восклицательные знаки для придания эмоциональной насыщенности.
- Фейковых отзывов для управления репутацией, использующие много восклицательных знаков для подчеркивания положительных моментов или отрицательных если присутствуют знаки отрицания.

Данный пример показывает, как один из признаков, как количество знаков препинания дает возможность приблизиться к реальному сценарию текста, при котором он создавался. В программе для автоматического выявления аномальных или фейковых текстов используется статическая модель машинного обучения, которая использовала более 70000 признаков и зависимостей.

Недоверие метрик успеха приводит к искажению результатов метрик, таких как уровень удовлетворенности клиентов или конверсия. Организация недооценивает проблемы, с которыми сталкиваются реальные клиенты, и упускать возможности улучшения. Также потеря рыночной доли на прямую зависит от качества результатов, выполненных алгоритмами машинного обучения на основе таких недоверенных данных, а именно упущенные возможности улучшения. То же самое касается рекомендательных систем, которые обучаются на предпочтениях пользователей, следовательно, не адекватное построение данных для матрицы алгоритмов приведет к неверным результатам [15].

Для управления безопасностью и выявления аномальных или фейковых текстов и данных аналитики, организации могут использовать программное обеспечение, которое реализует защиту, мониторинг, поиск изменений в составе данных на основе методов обнаружения с помощью ансамблевых nlp-алгоритмов [16]. Ниже показан фрагмент программы, который входит в комплекс ПО для автоматического определения аномалий в тексте.

Из данного, рис. 5, показан фрагмент ПО проекта можно увидеть модели заключенные в ансамблевый вид, также оценку по трем метрикам Precision, Recall и т. д.

Все три модели (обнаружение аномалий, обнаружение фейковых текстов и их ансамбль результатов) проявили выдающуюся производительность с точностью и полнотой до 99 %, показано на рис. 6. Это свидетельствует об их способности эффективно выявлять аномалии и фейковые информационные тексты в представленных данных. Такие высокие показатели точности делают эти модели надежными инструментами для защиты.

Модели анализирует, используя методы NLP для выделения характеристик текста и алгоритмы машинного

```
# Оценка модели обнаружения аномалий (Random Forest для аномалий)
anomaly_predictions = best_anomaly_model.predict(anomaly_data)
print("Anomaly Detection Model Results:")
print(classification_report(df['IsFake'], anomaly_predictions))
anomaly_accuracy = accuracy_score(df['IsFake'], anomaly_predictions)
print("\nAnomaly Detection Model Accuracy:", anomaly_accuracy)
```

Рис. 5. Программный код на Python, обученные ансамблевые модели, построенные на матрице признаков, оценка точности

обучения для матрицы признаков аномалий. Если модели обнаруживают текст, который сильно выбивается из статистики, содержит аномальные языковые конструкции или имеет экстремальное количество значений, то они помечают его как потенциально фейковый. Команда безопасности может затем проверить эти помеченные тексты для принятия дополнительных мер.

26	znaki1_zak	0.025687
27	znaki2_zak	0.039675
28	minus_zak	0.052211
29	plus_zak	0.013519

Anomaly Prediction: [ True]  
 Fake Prediction: [ True]  
 Ensemble Prediction: [ True]

Рис. 6. Результаты работы программы автоматического определения аномалий в тексте

Реальные тексты обычно более сбалансированы и содержат детали, но также исследование проведенное в п. Материалы и методы на рисунке 1 показало, что признаки, определяющие зависимости между фейковыми текстами (почтовыми сообщениями и т. д.) и стадией определения такого отзыва сильно размыты. Поэтому существует необходимость внести корректировки в период тестирования программы, а именно реализовать поиск сценария создания текстовых данных. Для этого были введены признаки, которые характеризуют каждый сценарий. Для проверки обученных моделей был подан на вход текст с наибольшими признаками классифицирующиеся, как аномальные. Результаты важности признаков для моделей обнаружения аномалий и фейковых текстов представлены на рис. 6. В «Anomaly detection model feature importance», «Fake review detection model feature importance» и «Ensemble model accuracy» наибольший вклад вносят признаки, связанные с эмоциональной окраской и структурой текста, такие как voros\_znaki, voskl\_znaki, emostia\_minus, emostia\_plus и др. Обе модели и ансамбль предсказывают, что предоставленные данные соответствуют как сценарию аномалий, так и фейку что и требовалось доказать.

Общий результат проверок моделей указывает на высокую точность классификации, показано на рис. 7. Метрики precision, recall и f1-score для каждого класса демонстрируют высокие значения, что свидетельствует о хорошем балансе между точностью и полнотой классификации. Значение accuracy также довольно высоко,

составляя 0.976657329598506, это указывает на общую эффективность модели.

Макроусредненные и взвешенные средние метрик подтверждают высокую производительность модели в целом. Взвешенное среднее учитывает различное количество экземпляров в каждом классе, а макроусредненные значения дают общую картину производительности модели, усредняя результаты для каждого класса без учета их размера.

	precision	recall	f1-score
0	0.96	1.00	0.98
1	1.00	0.94	0.97
accuracy			0.98
macro avg	0.98	0.97	0.98
weighted avg	0.98	0.98	0.98

Accuracy: 0.976657329598506

Рис. 7. Проверка модели по стандартным метрикам

Интеграция системы автоматического обнаружения в КИС для последующей работы в организации может быть реализована с использованием библиотек pandas и SQLAlchemy для эффективной обработки и хранения данных. Автоматизация обновления данных должна быть организована с использованием Celery, а мониторинг и уведомления реализованы с использованием Grafana или ELK Stack. Также, интеграция с существующими приложениями рассматривается через REST API, используя Flask, Django и др. Аспекты безопасности обеспечиваются с помощью SSL и библиотеками для аутентификации и авторизации, такими как Flask-Security. Тестирование системы включает как модульные, так и интеграционные тесты, реализуемые с использованием pytest. Для поддержки предусмотрены каналы обратной связи, создание подробной документации для пользователя и администратора системы.

### Исследование аналогов

Одним из рассмотренных аналогов проекта «Разработка системы ПО для обеспечения безопасности на основе автоматического выявления аномалий и фейковых текстов с использованием алгоритмов машинного обучения», является система анализа аномального поведения пользователей на основе данных о перемещениях и текстовых данных [17]. Данное исследование также ис-

## Заключение

пользует методы машинного обучения и алгоритмы анализа данных для выявления отклонений от нормального поведения пользователей. В отличие от системы анализа пользователей, проект поиска аномалий в текстовой информации фокусируется на анализе текстовых данных с целью выявления фейковых или манипулированных текстов. Проект предлагает инновационный подход, который не только обнаруживает аномалии в текстах, но и способен определять скрытые коррупционные схемы, предотвращать распространение дезинформации и предоставлять эффективные меры по поиску утечек конфиденциальной информации. Кроме того, разработанный проект способен анализировать разнообразные источники текстовой информации, включая веб-сайты, социальные медиа и онлайн-платформы. Это позволяет более широко охватывать угрозы в цифровой среде, такие как фишинговые атаки, дезинформация и утечка данных, что делает проект более универсальным и эффективным инструментом для обеспечения информационной безопасности.

Дополнительным преимуществом разработанного проекта является его способность к более глубокому анализу текстовых данных и выявлению характерных особенностей, свойственных аномальным или манипулированным текстам. Данная система использует современные технологии и алгоритмы машинного обучения для обнаружения структурных аномалий, специфических лингвистических приемов и других атипичных черт, которые могут быть связаны с намеренным искажением информации. Это позволяет обученным моделям выявлять угрозы с более высокой точностью и надежностью, чем аналогичные методики, описанные здесь [18]. Также разработка предоставляет комплексный механизм для управления обнаруженными угрозами, что делает его не только инструментом для выявления аномалий, но и эффективным средством для управления их последствиями. Это важно для компаний и организаций, которые сталкиваются с различными угрозами в текстовых данных и нуждаются в инструменте, способном не только идентифицировать эти угрозы, но и принимать меры по их управлению.

Разработанная методика, основанная на объединении алгоритмов машинного обучения для определения сценариев информационной текстовой составляющей, демонстрирует высокую эффективность в повышении вероятности точного обнаружения фейка. Использование данной разработки позволяет системе более точно определить особенности, характерные для неправдоподобных сообщений, и выявить их сценарии с высокой степенью достоверности. Анализ сценариев по предшествующей имитационной модели, является ключевым элементом в применении этой методики. Путем внедрения дополнительных сценариев, которые описывают характеристики фейковых отзывов, алгоритм становится более чувствительным и адаптированным к разнообразным техникам создания фейка. Разработка предоставляет комплексный механизм для управления обнаруженными угрозами, что делает его не только инструментом для выявления аномалий, но и эффективным средством для управления их последствиями. Это важное решение для компаний и организаций, которые сталкиваются с различными угрозами в текстовых данных и нуждаются в инструменте, способном не только идентифицировать эти угрозы, но и принимать меры по их управлению. Применение всех этих аспектов позволяет более эффективно выявлять и анализировать сущности, указывающие на фейковый характер текста, такие как структурные аномалии, использование определенных лингвистических приемов, иных атипичных черт, которые могут быть связаны с намеренным искажением информации. Программа способна анализировать разнообразные источники текстовой информации, включая веб-сайты, социальные медиа и онлайн-платформы. Следовательно, позволяет более широко охватывать угрозы в цифровой среде, такие как фишинговые атаки, дезинформация и утечка данных, что делает проект более универсальным и эффективным инструментом для обеспечения информационной безопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зыков С.В. Семантическая интеграция данных для безопасности и целостности корпоративных систем // Безопасность информационных технологий. — 2009. — №3. — с.16–19.
2. Бутакова М.А., Чернов А.В., Говда А.Н., Верескун В.Д., Карташов О.О. Метод представления знаний для проектирования интеллектуальной системы ситуационного информирования. В: Абрахам А., Ковалев С., Тарасов В., Снасель В., Суханов А. (ред.) Материалы Третьей Международной научной конференции «Интеллектуальные информационные технологии для промышленности» (ИТИ'18). 2018. Достижения в области интеллектуальных систем и вычислений, том 875. — Springer, Cham. стр. 225–235. doi: 10.1007/978-3-030-01821-4\_24.
3. Луизи Дж.В. «Прагматичная архитектура предприятия: стратегии преобразования информационных систем в эпоху больших данных», Morgan Kaufmann, 2014. 372 с. ISBN: 9780128005026
4. Исобоев Ш.И., Везарко Д.А., Чечельницкий А.С. Интеллектуальная система мониторинга безопасности сети беспроводной связи на основе машинного обучения. Экономика и качество систем связи. 2022:1:44–48.
5. Бачотти А. Стабильность и управление линейными системами. Cham: Springer, 2019. — 200p. ISBN 978-3-030-02405-5

6. Бурнашев Р.А. и др. Исследования по разработке экспертных систем с использованием искусственного интеллекта //Международная конференция по архитектуре и технологиям информационных систем. — Springer, Cham, 2019. — С. 233–242.
7. Дей Р., Рэй Г., Балас В.Е. Устойчивость и стабилизация линейных и нечетких систем с временной задержкой. Подход с Линейным Матричным Неравенством. Нью-Йорк: Спрингер, 2018. — 274 с. — DOI:10.1007/978-3-319-70149-3 ISBN: 978-3-319-70147-
8. Лин Чжан, Бернард П. Зиглер, Юаньцзюнь Лайли. Разработка моделей для моделирования / Elsevier; 1-е издание — 2019 г. — 453 с.
9. Хинкель Г. NMF: мультиплатформенный фреймворк моделирования //Международная конференция по теории и практике преобразований моделей. — Springer, Cham, 2018. — С. 184–194. — DOI:10.1007/978-3-319-93317-7\_10
10. Skillbox Media. Как отличить заказной фейковый отзыв от настоящего: 10 признаков. 10.07.2020. Режим доступа: [https://skillbox.ru/media/marketing/kak\\_otlichit\\_zakaznoy\\_feykovyy\\_otzyv/](https://skillbox.ru/media/marketing/kak_otlichit_zakaznoy_feykovyy_otzyv/) [дата обращения: 27.05.2024].
11. Хасти Тревор и Тибширани Роберт. Основы статистического обучения: интеллектуальный анализ данных, логический вывод и прогнозирование. [2-е изд.] — Springer. 2020. — 770 с.
12. Хасти Т., Тибширани Р., Фридман Дж. Элементы статистического обучения. Интеллектуальный анализ данных, логический вывод и прогнозирование. 2-е изд. Springer, 2009. — 745 с.
13. Виттен И.Х., Фрэнк Э., Холл М.А., Пэл К.Дж. Интеллектуальный анализ данных. Практические инструменты и методы машинного обучения. 4-е изд. Elsevier, 2017. 621 с. ISBN: 0120884070
14. Бринк Х. Ричардс Дж. Феверолф М. Машинное обучение в реальном мире. — Санкт-Петербург: Питер, 2017. — 336 с. — ISBN: 978-5-496-02989-6
15. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python / СПб.: Питер, 2018. — 400 с.
16. Шелухин О.И. Сетевые аномалии. Обнаружение, локализация, прогнозирование. — М.: Горячая линия — Телеком, 2019. 448 с. ISBN 978-5-9912-0756-0
17. Савенков П.А., Трегубов П.С. Сохранение целостности данных при помощи анализа аномалий в поведенческой деятельности пользователей // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. № 2 с. 45–49
18. Ениколопов С.Н., Ковалёв А.К., Кузнецова Ю.М., Чудова Н.В., Старостина Е.В. Признаки, характерные для текстов, написанных в состоянии фрустрации // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2019. № 3. С. 66–85. doi: 10.11621/vsp.2019.03.66

---

© Золотухина Мария Александровна (rtu\_mary@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПРЕОДОЛЕНИЕ ПРОГРАММНОГО БАРЬЕРА: ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДА ОТ ОДНОГО ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ К ДРУГОМУ В КОНТЕКСТЕ РАЗРАБОТКИ ПО ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМИ РЕСУРСАМИ, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА GOLANG

**Золотухина Мария Александровна**

Аспирант,

МИРЭА — Российский Технологический Университет  
rtu\_mary@mail.ru

**OVERCOMING THE SOFTWARE BARRIER:  
A STUDY OF THE TRANSITION FROM ONE  
PROGRAMMING LANGUAGE TO ANOTHER  
IN THE CONTEXT OF SOFTWARE  
DEVELOPMENT FOR FINANCIAL  
RESOURCE MANAGEMENT, FORECASTING  
AND OPTIMIZATION USING MACHINE  
LEARNING METHODS ON GOLANG**

**M. Zolotukhina**

*Summary.* The developed educational course «ML Development in Go: Theory and Practice», is designed to teach students with experience in Python design and effective transition to the Go programming language. The relevance of the course is due to the need for innovative methods of mastering technologies in the field of machine learning, and the purpose of the course is to provide students with the opportunity to successfully master a new programming language using the experience gained while working with Python. The course methodology includes a mechanism for adapting and transferring skills from Python to Go through the analysis and comparison of concepts and methods, which allows students to use the common and unique features of each language. The practice of switching between languages within the framework of projects helps students develop flexibility of thinking and skills of using each language according to its peculiarities. The course focuses on learning the material through the development of software for managing financial resources of organizations using machine learning and data analysis methods, which is valuable for business leaders and investors. The program identifies financial problems and provides recommendations on how to solve them, contributing to improving the financial stability of companies.

*Keywords:* Python, Golang, linear regression, predictive model, machine learning, neural networks, software, machine learning libraries, financial management, educational course.

*Аннотация.* Разработанный образовательный курс «Разработка ML на Go: теория и практика», предназначен для обучения студентов с опытом в проектировании на языке Python и эффективному переходу на язык программирования Go. Актуальность курса обусловлена потребностью в инновационных методах освоения технологий в области машинного обучения, также целью курса является предоставление студентам возможности успешного освоения нового языка программирования, используя опыт, накопленный при работе с Python. Методика курса включает механизм адаптации и переноса навыков с Python на Go через анализ и сравнение концепций и методов, что позволяет студентам использовать общие и уникальные особенности каждого языка. Практика переключения между языками в рамках проектов помогает студентам развить гибкость мышления и навыки использования каждого языка по его особенностям. Курс ориентирован на изучение материала посредством разработки программного обеспечения для управления финансовыми ресурсами организаций с применением методов машинного обучения и анализа данных, что представляет ценность для бизнес-лидеров и инвесторов. Программа выявляет финансовые проблемы и предоставляет рекомендации по их решению, способствуя повышению финансовой устойчивости компаний.

*Ключевые слова:* Python, Golang, линейная регрессия, прогностическая модель, machine learning (ML), нейронные сети, программное обеспечение (ПО), библиотеки машинного обучения, управление финансами, образовательный курс.

## Введение

**Р**ассмотрение оптимизация управления финансовыми ресурсами представляет собой важный аспект в области финансового управления и бухгалтерии.

Она олицетворяет стремление организации к эффективному использованию своих ресурсов для достижения устойчивого финансового роста и успеха. Целью оптимизации финансового управления является улучшение финансовой структуры организации, оптимизация рас-

пределения средств, снижение издержек и рисков, а также максимизация прибыли. Это позволяет обеспечить финансовую устойчивость, повысить конкурентоспособность и обеспечить долгосрочную безопасность организации [1]. Безопасность играет критическую роль в достижении цели разработки рекомендательной системы управления бюджетом организации. Также, целью такой системы является усовершенствование управление и эффективное распределение финансовых ресурсов, а также предоставление рекомендаций для принятия стратегических финансовых решений организационных структурах. В процессе работы с финансовыми данными и чувствительной информацией, безопасность становится приоритетом. Для увеличения производительности и уменьшения затрат решено использовать язык программирования Golang. Совместная работа обучающего курса и разработка на его основе интеллектуальной информационной системы управления бюджетом для обеспечения безопасности данных, позволяет рассмотреть подробно модули программного обеспечения данной системы, как материал изучения синтаксиса языка программирования. Метод, который демонстрирует быстрое переключение с одного языка на другой, является главной составляющей в программном обеспечении для интеллектуального управления финансовыми ресурсами в организации [2].

Исследование построено на анализе элементов донесения информации в процессе создания курса «Разработка ML на Go: теория и практика». В курсе представлен данный проект, как пример разработки собственных идей. Проведение параллелей между тонкостями разработки моделей машинного обучения на Python и на Golang позволяет углубиться в тему выбора библиотек и инструментов для реализации моделей, а в последующем и рекомендательных систем [3]. Все это требуется для перенесения методик разработки на Python на оптимизированный и многопоточный язык Golang.

Также, суть метода подготовки курса заключается в наложении главных составляющих, при написании кода для машинного обучения, на другой язык и среду. Это позволит быстро освоить новую область программирования, т. е. новую среду программирования. Для разработки моделей машинного обучения на языках программирования часто используются специализированные библиотеки и фреймворки.

### Материалы и методы

Методика реализации курса и подготовка студентов к освоению новой среды разработки и изучению языка программирования основывается на главных составляющих программы данного курса, а именно:

1. Показать студентам возможности нового языка программирования

- программы
  - узкопрофильные библиотеки
  - структуры написания и приоритеты
2. Сравнить архитектуру языков программирования
    - модули и пакеты
    - расширяемость
    - многозадачность
    - исполнительный файл
  3. Разработать проект на новом языке программирования с помощью языка аналога
    - разработка проекта с использованием разделения кода написанного на аналоге
    - изучение операторов
    - определение переменных

Для определения этапов, требуется основательно провести связь с перечисленными параметрами и языком аналогом. Язык аналог — это язык программирования, на котором достаточно плодотворно работает или обучается студент, выполняя курсовые, проекты и т. д. Обучающийся должен ориентироваться в документации, знать стиль программирования и определить для себя в какой области собирается писать код.

Главной задачей будет определить у студента уровень изучаемого языка программирования, следовательно, разработать тестовую систему определения знаний, выявить характерные особенности использования студентом знаний в данной области. Для этого требуется провести анализ проектов, выполненных в условиях, предоставляемых студентам. Также необходимые шаги подойдут и для магистров, специализирующихся в области внедрения программ в «продакшн», развертывания и масштабирования моделей.

Для более подробного изучения вопроса о постепенном внедрении нового языка программирования для применения в узкопрофильной области — проведена разработка курса по созданию моделей машинного обучения на Go. Большое внимание направлено на определение таких задач, решаемых посредством нового языка, как бинарная и многоклассовая классификация, регрессия, кластеризация, обнаружение аномалий, прогнозирование временных рядов и т. д. Прежде всего, введем теоретическую базу, а именно продемонстрируем на примерах параллелизм, производительность и многопоточность нового языка программирования, и связь между собой и Go [4]. Далее рассмотрим практически необходимые структуры в Go для построения моделей машинного обучения. Такие библиотеки, как Gorgona, Golearn, Golang позволяют выполнять самые распространенные команды в отношении искусственного интеллекта. Глубокое обучение и численные вычисления используют Gorgona. Построение моделей машинного обучения на основе задач классификации, регрессии и кластеризации основываются на библиоте-

ке Golearn. Ее состав близок к составу библиотеки написанной на Python, scikit-learn. Библиотека Golang для ML позволяет реализовать стандартные алгоритмы машинного обучения и больше сконцентрирована на простых задачах. Также, для адаптации к новой среде и для работы с другими данными построенные модели требуют модернизации, т. е. проведение новых расчетов. Этому способствует библиотека Gonum в языке программирования Go. Она позволяет производить точные статистические расчеты для подготовки к обработке датасета. Включает в модули применение линейной алгебры, оптимизации и статистики [5, 6, 7].

Чтобы не запутать студента во время подготовки кода или расписания теоретических задач для проекта, вводится тестовая часть курса, один из вопросов показан на рисунке 1.

Рассмотрим методику реализации ML моделей на языке программирования более производительном и многофункциональном, показана в таблице 1. Golang часто используется для создания веб-серверов, микросервисов, инструментов для администрирования, в области разработки блокчейн-приложений. Популярность его распространилась благодаря своей производительности, простоте и возможностям параллелизма, и активно применяется в разработке современных программных продуктов. Go является языком программирования, который можно использовать для написания алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей. Описанные преимущества для машинного обучения и нейронных сетей достаточно действенны и показывают высокий процент результата. Благодаря производительности

Таблица 1.

Методика обучения студентов разработке моделей машинного обучения на языке Go

Ключевые шаги	Описание
Освоение основ Go	Студенты начинают с изучения основных концепций языка Go, таких как синтаксис, типы данных, функции, структуры и интерфейсы. Это позволяет им уверенно писать код на Go и понимать его особенности.
Изучение библиотек и фреймворков для машинного обучения	Студентам предоставляется обзор библиотек и фреймворков для машинного обучения на Go, таких как Gorgonia, Golearn и т. д. Они изучают основные функции и возможности этих инструментов.
Практические задания и проекты	Студенты выполняют ряд практических заданий и проектов, включающих в себя разработку моделей машинного обучения на языке Go. Они решают реальные задачи, используя полученные знания и инструменты.
Применение методики совместности двух языков программирования	Студенты учатся переносить знания и навыки, полученные в разработке на Python, на язык Go. Это включает в себя сравнение схожих концепций и подходов к решению задач машинного обучения на обоих языках.
Практика переключения между языками	Студенты практикуют переключение между языками программирования Python и Go в рамках одного проекта или задания. Это помогает им освоить переход от одного языка к другому и использовать каждый из них в соответствии с его особенностями.

Чтобы данная информация в таблице более, менее запомнилась, проведем с вами тестирование на понимание и на знание ключевых аспектов.

Итак: у нас есть задача разработать сервис по анализу рейтинга продуктовой корзины и прогноза товара с наивысшей оценкой, далее рекомендовать его покупателю на маркетплейсе. Следовательно, требуется определить подходящую библиотеку или среду для решения данной задачи.

**Выберите один вариант из списка**

- Gorgonia
- spaCy
- TensorFlow
- Surprise
- scikit-learn

2 балла за решение.

Отправить

Вы можете стать первым, кто решит эту задачу

Рис. 1. Пример задачи из курса «Разработка ML на Go: теория и практика»

Golang обеспечивает высокую многофункциональность, что делает его подходящим для обработки больших объемов данных и выполнения вычислительно интенсивных задач. Это важно, особенно при работе с большими наборами данных и обучением сложных моделей. Структура, которой обладает этот язык программирования, предоставляет возможность конструирования эффективного управления ресурсами, включая память и многопрофильную обработку [8].

После прохождения курса и набора опыта студентами, подходит очередь разработать проект. Требуется написать программу на Python, следующие этапы предполагают перестановку модулей на язык Golang. К концу обучения у студента сформирована тема проекта, цель, проблема на которую направлена разработка, также общие понятия и практика, сформированная с помощью методики совместимости двух языков по конструктиву, пример алгоритма для формирования ПО управления финансовыми ресурсами, показан на рисунке 2.

На рисунке 2 обозначены ключевые аспекты разработки системы экспертного анализа финансовых ресур-

сов, а именно библиотеки, структуры и фреймворки. Сам проект «ПО для управления финансовыми ресурсами организации, прогнозированием и оптимизации с использованием методов машинного обучения» разработан на основе исследования зависимостей двух структур языка программирования Python и Golang. Новый метод, на котором разработан курс «Разработка ML на Go: теория и практика» реализован посредством наложения составных частей программы друг на друга. А именно:

Применение методики совместимости двух языков программирования в обучении студентов включает в себя механизм адаптации и переноса понимания и навыков, полученных в контексте разработки на Python, на язык Go. Этот процесс осуществляется путем анализа и сравнения аналогичных концепций и методов, применяемых в задачах машинного обучения на обоих языках программирования. Таким образом, студенты приобретают способность распознавать и использовать общие и уникальные особенности каждого языка для эффективного решения задач в области машинного обучения.

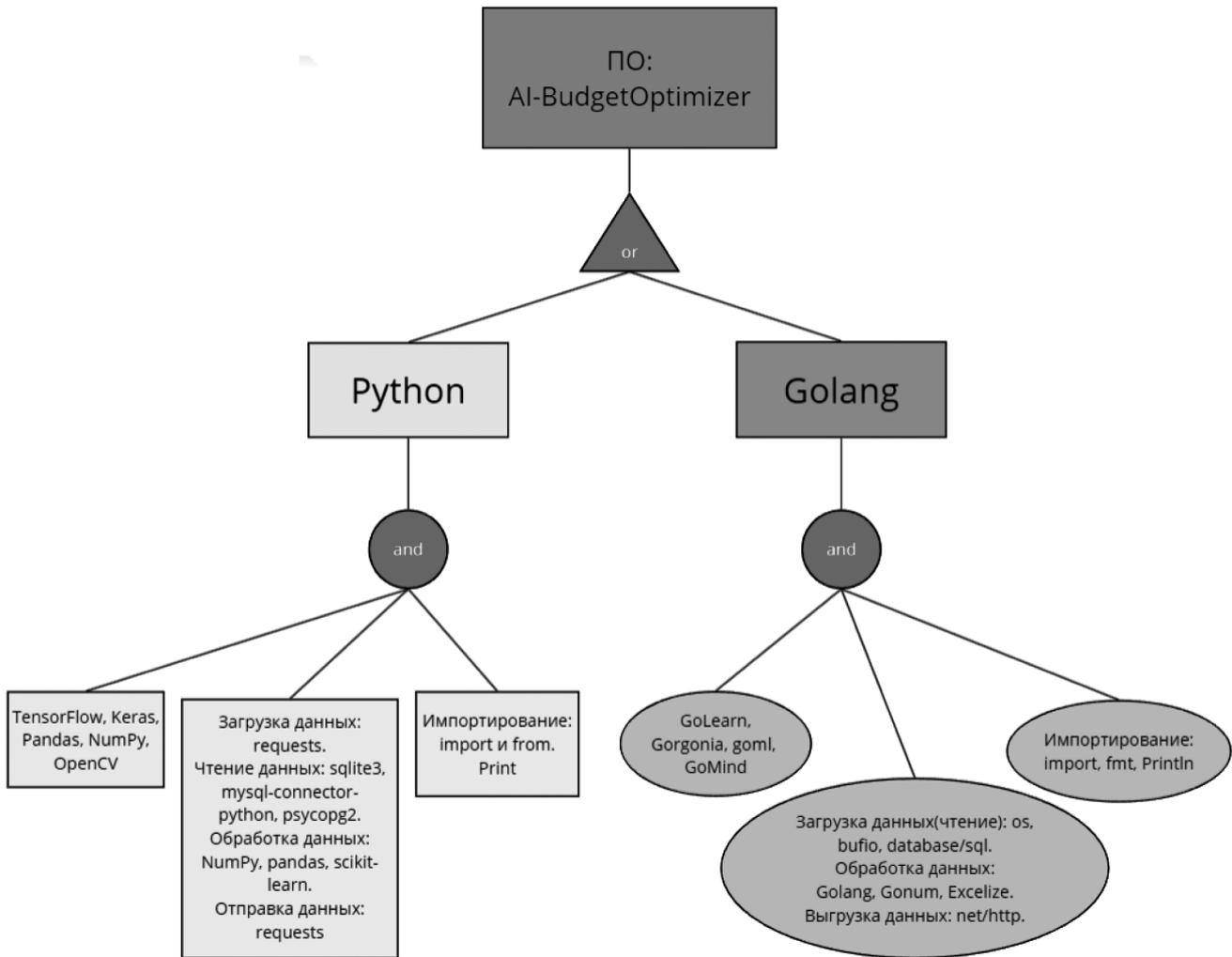


Рис. 2. Алгоритм формирования ПО для управления финансовыми ресурсами

Практика переключения между языками программирования Python и Go предоставляет студентам возможность развивать навыки адаптации и использования каждого языка в соответствии с его функциональностью и особенностями. В рамках одного проекта или задания студенты практикуют переход от одного языка к другому, что способствует углубленному пониманию обоих языков и развитию гибкости мышления в выборе оптимального инструментария для решения конкретных задач машинного обучения.

### Результаты

На примере рассмотренных библиотек и модулей можно сделать вывод о целесообразности писать качественный код в узкоспециализированной области используя язык аналог. На рисунке 3 данная задача демонстрирует объявление функций, работу с пакетами и использование цикла. Тем не менее язык программирования, на котором работает студент, должен быть на высоком уровне, чтобы реорганизация новой информация давала возможность использовать материал для построения нового проекта уже на другом языке, все это прописано в курсе «Разработка ML на Go: теория и практика». Соответственно, в материалах приводятся доста-

точно подробные примеры разработки кода на Golang под задачи реализуемые на Python [9].

Сформированный курс, включающий в себя разработку моделей машинного обучения и нейронных сетей на языке Golang посредством ввода языка аналога, дает возможность обратить внимание на новое направление в создании и развертывании методов и алгоритмов искусственных нейронных сетей в общем их понятии [10]. Golang можно использовать в машинном обучении для разработки и оптимизации алгоритмов, а также для построения инфраструктуры и сервисов вокруг моделей машинного обучения.

На Go реализовывают алгоритмы машинного обучения, такие как линейная регрессия, логистическая регрессия, метод опорных векторов (SVM), алгоритм k-ближайших соседей с учетом оптимизации производительности. А готовая ML модель отлично подойдет для внедрения в микросервисы. Такая стратегия позволяет интегрировать машинное обучение в приложения или внутрикорпоративную инфраструктуру. Когда речь идет об искусственном интеллекте, то одновременно следует решать вопрос с данными [11]. Golang может быть использован для обработки больших объемов данных,

```

1  package main // Определение пакета
2
3  import "fmt" // Импорт библиотеки для работы с выводом в консоль
4
5  // Функция для вычисления среднего значения
6  func calculateAverage(numbers []float64) float64 {
7      total := 0.0
8      for _, num := range numbers {
9          total += num
10     }
11     return total / float64(len(numbers))
12 }
13
14 func main() { // Функция main - точка входа в программу // Создаем срез чисел
15     numbers := []float64{3.4, 6.3, 5.9, 1.3, 9.0}
16
17     // Вызываем функцию для вычисления среднего значения
18     average := calculateAverage(numbers) // Выводим результат в консоль
19     fmt.Printf("Среднее значение: %.2f\n", average)
20 }
21

```

```

PROBLEMS  OUTPUT  DEBUG CONSOLE  TERMINAL  PORTS
[Running] go run "c:\Users\ \ \ \ \main.go"
Среднее значение: 5.18

[Done] exited with code=0 in 1.277 seconds

```

Рис. 3. Пример кода из курса. Код написан на Golang и решает узкоспециализированную задачу: Программа, которая вычисляет среднее значение чисел из среза (слайса)

как уже было написано ранее, и создания инструментов для эффективного управления данными в рамках интеллектуальной обработки данных. Также данным языком и его инфраструктурой поддерживаются параллелизм и разработка распределенных систем, что применяется для распределенного обучения моделей машинного обучения на кластерах, тем самым уменьшая время обработки. Развертывание модели — это последний и ответственный шаг разработки ML моделей, все действия проводятся с помощью создания инфраструктуры для производственной среды. Пример обучающей таблицы, реализованной на курсе для подготовки проекта показан на рисунке 4. Здесь представлен отрывок программы на двух языках программирования, выполняющих полностью одинаковые задачи и выводы результатов.

Теперь рассмотрим главную задачу разработки данного курса, это создание многофункциональной рекомендательной системы в программе на Python и на Golang. Исследуемая тема является актуальной для инфраструктур организаций и компаний [12]. Следовательно, разработка программного обеспечения для управления финансовыми ресурсами организации, прогнозированием и оптимизации с использованием методов машинного обучения на Python и на Golang. Проект не только имеет значимость для решения финансовых проблем компаний, но и является продуктом курса «Разработка ML на Go: теория и практика», где создавался с помощью методики разработанной и описанной в п. Материалы и методы, а именно написания узкоспециализированного кода на основе языка аналога, который в свою очередь является переходным по отношению к другому. На рисунке 4 представлена связь двух языков программирования Python и Golang для решения одной задачи. Программа для реализации поиска финансовых проблем, прогнозирования и рекомендаций спроектирована с помощью структур используемых языков

программирования и разделена на пункты обработки определенных задач. Вот некоторые из них: предсказание с использованием линейной регрессии, сигмоидная функция, пороги для условий, проверка наличия проблем и т. д. [13] Пункт работа с файлом представляет собой: открытие, загрузка и чтение csv-файла. Таким образом выполняемые задачи в программе идентичны друг другу, кроме правил написания характерных для каждого языка.

Перейдя от структуры программы к актуальности и решаемости категорий финансовых проблем в компаниях, разработанное ПО дает возможность прогнозировать финансовые проблемы таких категорий, как дефицит прибыли, высокие операционные расходы и низкий чистый доход от продолжающихся операций. Надстройка рекомендаций в зависимости от вероятности возникновения проблем, программа предоставляет указания по предотвращению этих проблем или сообщает о конкретных выявленных проблемах. ПО использует линейную регрессию для прогнозирования финансовых проблем у компаний на основе их финансовых данных, предоставленных в CSV-файле. Структура, прописанная в коде, к которой обращается пользователь, определяют проблему, превышает ли чистый доход от продолжающихся операций компании заданный порог (в данном случае, net Income Deficit Threshold). Если нет, программа идентифицирует дефицит прибыли и дает следующие рекомендации: снижение расходов, увеличение доходов или реструктуризации бизнес-процессов для улучшения финансового положения. Также программа выводит вероятность возникновения проблемы, предоставляя пользователям количественную оценку риска. Пример кода показан на рисунке 5. Для проверки работы и проведения всех циклов в программе были даны пользователем на вход отличающиеся показатели для реализации на Golang и Python. Для поиска зависи-

Работа с файлом		
# Открываем CSV-файл with open('dataset.csv', newline='') as csvfile:	func main() { // Открываем CSV-файл f, err := os.Open("dataset.csv") if err != nil { log.Fatal(err) }	Для версии программы на Python - Открывается файл dataset.csv Для версии программы на Golang - Открытие файла "dataset.csv" для чтения данных и обработка возможных ошибок
reader = csv.reader(csvfile)	defer f.Close() // Создаем новый CSV reader salesData := csv.NewReader(f) salesData.FieldsPerRecord = 16	Для версии программы на Python - Заголовок сохраняется в переменной header, а остальные данные - в списке data. Для версии программы на Golang - Создание нового CSV reader для файла и чтение всех записей. Задается ожидаемое количество полей в каждой записи (16)
header = next(reader) data = [row for row in reader]	// Читаем все записи records, err := salesData.ReadAll() if err != nil { log.Fatal(err) }	Считывается его содержимое с использованием модуля CSV.

Рис. 4. Отрывок таблицы из курса «Разработка ML на Go: теория и практика», слева Python, справа Golang

мостей в данных применялась линейная регрессия, хорошо смоделировала отношения между показателями и данными, что позволило добиться всестороннего решения проблемы. Это можно увидеть на рисунках 5 и 6 в результатах программы(терминал).

Обеспечение безопасности финансовых данных и процессов важно не только для предотвращения потерь и рисков, но и для поддержания доверия клиентов и защиты репутации организации. Таким образом, безопасность и целью оптимизации финансовых ресурсов тесно взаимосвязаны и неотъемлемы для успешной реализации системы управления бюджетом.

### Обсуждение

Представленный в данном исследовании образовательный курс обладает значительным потенциалом для оптимизации базы знаний студентов, обладающих опытом в разработке на Python. Методика, разработанная в рамках исследования, позволяет студентам создавать полноценные программы на новом языке программирования, используя все возможности этого языка. Проведенное исследование фокусировалось на разработке модели машинного обучения на двух языках программирования, включая незнакомый для разработчика Golang. Этот подход позволяет внедряться в структуру нового языка и успешно писать код на нем. Однако стоит отметить, что использование нового языка программирования, в данном случае Golang, требует глубокого изучения его документации для успешной реализации масштабных проектов. Разработанная методика служит платформой для усовершенствования навыков, но для работы в реальных условиях необходимо более тщательное ознакомление с особенностями языка.

Целью методики является не только ознакомление студентов с особенностями каждого языка, но и обучение их умению переключаться между ними в зависимости от поставленных задач. Такой подход помогает студентам освоить оба языка программирования и использовать их с учетом их функциональности и возможностей для решения конкретных проблем в области машинного обучения. Практика переключения между языками Python и Go осуществляется в рамках выполнения различных проектов и заданий, что позволяет студентам развивать навыки адаптации и использования каждого языка в соответствии с его особенностями. Такой подход способствует углубленному пониманию обоих языков и развитию гибкости мышления в выборе оптимального инструментария для решения конкретных задач в области машинного обучения.

Таким образом, инновационный подход к обучению разработке моделей машинного обучения, который позволяет студентам эффективно использовать и адаптировать свои знания и навыки на различных языках программирования в контексте современных задач и требований информационных технологий представлен в курсе.

ПО предоставляет мощные инструменты для анализа финансовых показателей компаний, позволяя пользователям принимать информированные решения. Программа, созданная в результате исследования, способна определить проблемы в финансовом положении компании, такие как дефицит прибыли или высокие операционные расходы. В зависимости от выявленных проблем она предоставляет рекомендации по снижению расходов, увеличению доходов или реструктуризации бизнес-процессов. Эта разработка не только выявляет

```
func main() {
    // открываем CSV-файл
    f, err := os.Open("dataset.csv")
    if err != nil {
        log.Fatal(err)
    }
    defer f.Close()

    // Создаем новый CSV reader
    salesData := csv.NewReader(f)
    salesData.FieldsPerRecord = 16

    // Читаем все записи
    records, err := salesData.ReadAll()
    if err != nil {
        log.Fatal(err)
    }

    // Создаем модель линейной регрессии
    var r regression.Regression
    r.SetObserved("firm")
}
```

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS

powershell + - [ ] [ ] ... ^ x

Вероятность финансовых проблем для 'firm' высокая: 1  
 Специфические проблемы: [Дефицит прибыли (Net Income Deficit) Высокие операционные расходы (High Operating Expenses) Низкий чистый доход от продолжающихся операций (Low Net Income from Continuing Operations)]

Рис. 5. Отрывок программы, где осуществляется обработка файла и создание модели линейной регрессии на Golang. В терминале показан результат исследования критериев для компании «firm»

```

+ Код + Текст
problems.append("Низкий чистый доход от продолжающихся операций (Low Net I

return problems

# Открываем CSV-файл
with open('dataset.csv', newline='') as csvfile:
    reader = csv.reader(csvfile)
    header = next(reader)
    data = [row for row in reader]

# Извлекаем целевую переменную
target = np.array([float(row[header.index("Net_Income")]) for row in data[1:]])

# Создаем модель линейной регрессии
model = LinearRegression()

# Обучаем модель
model.fit(features, target)

# Выводим также вероятность и предсказание для более подробной информации
print("Вероятность:", probability)
print("Предсказание:", prediction)

```

 Вероятность финансовых проблем: 1.0  
 Специфические проблемы: ['Высокие операционные расходы (High Operating Expenses)']  
 Вероятность: 1.0  
 Предсказание: 3095463.963752241

Рис. 6. Отрывок программы, где осуществляется обработка файла и создание модели линейной регрессии на Python. В терминале показан результат исследования критериев для компании «firm»

финансовые проблемы, но и предоставляет ценные рекомендации для их решения, повышая эффективность работы финансовых аналитиков, бухгалтеров и управленцев компаний [14].

В таблице 2 показан сравнительный анализ трех образовательных курсов: «Машинное обучение и анализ данных»(openedu), «Программирование на Python»(openedu) и «Разработка ML на Go: теория и практика». Рассматриваются аналоги, различия и сходства методик, преимущества разработанной методики, используемой в курсе «Разработка ML на Go: теория и практика», и определение результатов, которые достигнуты благодаря данному образовательному материалу.

В таблице 3, продемонстрированы разделы разработанной методики и их применение в основных рассмотренных курсах. Под числами 1, 2, 3, подразумеваются анализируемые курсы: «Машинное обучение и анализ данных», «Программирование на Python» и «Разработка ML на Go: теория и практика».

Следовательно, определим научную новизну внедренной методики в данный курс, которая представлена в виде обучения студентов созданию моделей машинного обучения на языке программирования Go, используя опыт, накопленный в разработке на Python. Новый подход к обучению позволяет студентам успешно осваивать новый язык программирования, а также применять его для решения задач искусственного интеллекта. Теоре-

тической значимостью является перенесение навыков программирования и решения задач ML моделей с одного языка программирования на другой. Такой подход расширяет возможности студентов и обогащает их опытом, позволяя им работать в различных областях и использовать разнообразные инструменты. Практическая значимость обеспечивает студентов новыми навыками, которые применяются в реальных проектах и работе над задачей в виде разработки своего проекта на основе представленного в курсе «ПО для управления финансовыми ресурсами, прогнозирования и оптимизации с использованием методов машинного обучения на Golang». Демонстрируются новые перспективы для использования языка Go в сфере машинного обучения и анализа данных, такой подход приводит к созданию более эффективных и масштабируемых решений.

### Заключение

Разработанный мною курс «Разработка ML на Go: теория и практика» позволяет реорганизовать базу знаний, которую уже имеет студент, имеющий опыт в решении задач и разработки проектов на Python. С помощью новой методики студент может написать полноценную программу на другом языке программирования используя все атрибуты языка аналога. Исследование велось на основе разработки модели машинного обучения на двух языках программирования, один из которых является незнакомым для разработчика, тем самым позволяя внедряться в структуру нового языка и писать

Таблица 2.

Сравнительная характеристика курсов

Курс	Машинное обучение и анализ данных (1)	Программирование на Python (2)	Разработка ML на Go: теория и практика (3)
Целевая аудитория	Студенты с базовыми навыками программирования	Новички в программировании	Студенты с опытом в разработке на Python
Цель курса	Обучение методам машинного обучения, анализу данных и их применению	Освоение основ программирования на Python и применение для решения прикладных задач	Освоение языка Go для разработки моделей машинного обучения, используя опыт разработки на Python
Результаты обучения	Знание типов задач и методов машинного обучения, работа с библиотеками Python, анализ и обработка данных	Освоение основ программирования, применение Python для анализа и парсинга данных, проект для портфолио	Умение писать ML модели на Go, перенос навыков с Python на Go, разработка приложений на Go с использованием опыта на Python
Методика обучения	Теоретические видео-лекции, практические упражнения	Видео-лекции, скринкасты, тестовые задания, задания на программирование с автоматической проверкой	Лекции, семинары, тесты, задания, практические работы, программирование
Применение в реальных задачах	Анализ данных, построение моделей машинного обучения, прогнозирование	Анализ данных, визуализация, автоматизация бытовых и рабочих задач	Разработка моделей машинного обучения на Go, создание инструментов для анализа финансовых показателей компаний
Преимущества метода обучения	Глубокое погружение в методы машинного обучения, практика применения на реальных задачах	Простота освоения основ программирования, практическая направленность, автоматическая проверка	Эффективный переход с одного языка на другой, углубленное понимание обоих языков, адаптация навыков к новым условиям, гибкость мышления
Инновационный подход	«Проливание света» на современные методы и задачи машинного обучения	Пошаговое обучение с акцентом на практику и реальные задачи	Методика совместимости двух языков программирования, адаптация и перенос навыков, практика переключения между языками, углубленное понимание обоих
Отличия от других курсов	Фокус на методах машинного обучения, статистической обработке данных, практическом применении	Основы программирования с нуля, применение Python для анализа данных и автоматизации	Перенос навыков с Python на Go, использование нового языка программирования для ML, практика переключения между языками
Сходства с другими курсами	Использование Python для обработки и анализа данных, включение практических упражнений	Обучение программированию на Python, практическая направленность	Обучение языкам программирования, практическая направленность, использование Python
Чем курс лучше других	Глубокое погружение в машинное обучение, доступное изложение сложных математических концепций	Доступность для новичков, пошаговое обучение, практическая направленность	Инновационная методика совместимости языков, адаптация навыков к новому языку, практика переключения, углубленное понимание и гибкость мышления, адаптация навыков к новому языку программирования

Таблица 3.

Разделы разработанной методики

Методики	1	2	3
Фокус на математических основах	Да	Нет	Частично
Применение на практике	Да	Да	Да
Переключение между языками	Нет	Нет	Да
Перенос навыков с другого языка	Нет	Нет	Да
Использование опыта программирования	Нет	Нет	Да
Адаптация навыков к новому языку	Нет	Нет	Да

на нем код. Чтобы использовать новый язык программирования в данном случае Golang требуется основательно изучить документацию, сам же разработанный метод

является только платформой для усовершенствования навыков и написания подобных скриптов. Для работы модели в «продакшн», необходимо глубокое изучение языка, его слабых и сильных сторон использования для большой аудитории. Изучение документации позволит реализовывать полномасштабные проекты.

Главной целью курса и конечным продуктом программирования является разработка программного обеспечения для управления финансовыми ресурсами организации, прогнозирования и оптимизации с использованием методов машинного обучения и анализа данных посредством метода реорганизации базы знаний на другой переводной язык программирования. Проект предоставляет мощные инструменты для анализа финансовых показателей компаний, что позволяет

пользователям, включая бизнес-лидеров и инвесторов, принимать информированные решения. Программа анализирует, превышает ли чистый доход от продолжающихся операций компании заданный порог. В противном случае экспертная система определяет, что у компании есть дефицит прибыли. При ситуации выявления дефицита прибыли программа может предложить рекомендации по снижению расходов, увеличению доходов или реструктуризации бизнес-процессов для улучшения финансового положения. Также определяются следующие критерии проблемы и рекомендации по устранению: при высоких операционных расходах программа предложит стратегии сокращения расходов, оптимизации бизнес-процессов или пересмотра структуры затрат, если присутствует описательная характеристика

в виде «низкий чистый доход от продолжающихся операций», следовательно программа предложит стратегии увеличения прибыльности, оптимизации доходов или пересмотра продуктовой линейки. В зависимости от вероятности возникновения финансовых проблем, данная разработка предоставляет общие рекомендации по улучшению финансовой устойчивости компании. программа не только идентифицирует конкретные финансовые проблемы, но и предоставляет ценные рекомендации для их решения. Такое действие плодотворно влияет на продуктивность финансовых аналитиков, бухгалтеров и управленцев компаний, позволяя им более эффективно управлять финансовыми рисками и принимать обоснованные решения для улучшения предприятия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Луизи Дж.В. «Прагматичная архитектура предприятия: стратегии преобразования информационных систем в эпоху больших данных», Morgan Kaufmann, 2014. 372 с. ISBN: 9780128005026
2. Виттен И.Х., Фрэнк Э., Холл М.А., Пэл К.Дж. Интеллектуальный анализ данных. Практические инструменты и методы машинного обучения. 4-е изд. Elsevier, 2017. 621 с. ISBN: 0120884070
3. Бурнашев Р.А. и др. Исследования по разработке экспертных систем с использованием искусственного интеллекта //Международная конференция по архитектуре и технологиям информационных систем. — Springer, Cham, 2019. — С. 233–242.
4. Цукалос М. Golang для профи: работа с сетью, многопоточность, структуры данных и машинное обучение с Go. — СПб.: Питер, 2020. — 720 с.: ил. — (Серия «Для профессионалов»).
5. Донован Алан А.А., Керниган Брайан У. Язык программирования Go.: Пер. с англ. — М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2016. — 432 с.: ил. — Парал. тит. англ. ISBN 978-5-8459-2051-5 (рус.)
6. Хасты Тревор и Тибширани Роберт. Основы статистического обучения: интеллектуальный анализ данных, логический вывод и прогнозирование. [2-е изд.] — Springer. 2020. — 770 с.
7. Хасты Т., Тибширани Р., Фридман Дж. Элементы статистического обучения. Интеллектуальный анализ данных, логический вывод и прогнозирование. 2-е изд. Springer, 2009. — 745 с.
8. Фриман А. Pro Go: Полное руководство по программированию надежного и эффективного программного обеспечения с использованием Golang. Изд.: Самиздат, стр. 1286 (2022) ISBN 978-1-4842-7354-8, e-ISBN 978-1-4842-7355-5
9. Титмус М.А. Облачный Go / пер. с англ. А.Н. Киселева. — М.: ДМК Пресс, 2022. — 418 с.: ил. ISBN 978-5-97060-965-1
10. Бринк Х., Ричардс Дж., Феверолф М. Машинное обучение в реальном мире. — Санкт-Петербург: Питер, 2017. — 336 с. — ISBN: 978-5-496-02989-6
11. Бутакова М.А., Чернов А.В., Говда А.Н., Верескун В.Д., Карташов О.О. Метод представления знаний для проектирования интеллектуальной системы ситуационного информирования. В: Абрахам А., Ковалев С., Тарасов В., Снасель В., Суханов А. (ред.) Материалы Третьей Международной научной конференции «Интеллектуальные информационные технологии для промышленности» (ИИТ'18). 2018. Достижения в области интеллектуальных систем и вычислений, том 875. — Springer, Cham. стр. 225–235. doi: 10.1007/978-3-030-01821-4\_24.
12. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. — 584 с.
13. Дей Р., Рэй Г., Балас В.Е. Устойчивость и стабилизация линейных и нечетких систем с временной задержкой. Подход с Линейным Матричным Неравенством. Нью-Йорк: Спрингер, 2018. — 274 с. — DOI:10.1007/978-3-319-70149-3 ISBN: 978-3-319-70147-
14. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. — М.: Либроком, 2009. — 264 с.

© Золотухина Мария Александровна (rtu\_mary@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ЗАПОЛНЕНИЯ ТРЁХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЛИГОНАМИ

**Зуев Дмитрий Денисович**

Аспирант, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»  
dimastik.9911@gmail.com

## FUNDAMENTALS OF FILLING THREE-DIMENSIONAL MODELS WITH POLYGONS

**D. Zuev**

*Summary.* The aim of the research is to study and systematize the basic principles, methods, and tools for filling three-dimensional models with polygons in order to improve their quality and performance. The results of the study can be useful for specialists in the field of 3D modeling and game development, as well as for teachers and students of relevant specialties. The relevance of the topic is due to the widespread use of three-dimensional modeling in various fields such as architecture, design, film industry, gaming industry and others. Filling models with polygons is an important stage of the modeling process, on which the quality and detail of the final product depend. Optimization of this process allows you to speed up work on projects and increase their competitiveness in the market.

*Keywords:* modeling, polygon filling, three-dimensional models, model topology, texturing.

*Аннотация.* Целью исследования является изучение и систематизация основных принципов, методов и инструментов заполнения трехмерных моделей полигонами с целью повышения их качества и производительности. Результаты исследования могут быть полезны специалистам в области 3D-моделирования и разработки игр, а также преподавателям и студентам соответствующих специальностей. Актуальность темы обусловлена широким распространением трехмерного моделирования в различных областях, таких как архитектура, дизайн, киноиндустрия, игровая индустрия и других. Наполнение модели полигонами — важный этап процесса моделирования, от которого зависит качество и детализация конечного продукта.

*Ключевые слова:* моделирование, заполнение полигонами, трехмерные модели, топология модели, текстурирование.

**Ж**изнь в современном мире заставляет человека создавать новые объекты и продукты, каждый из которых основывается на базовых понятиях из различных сфер жизни человека. Например, компьютерная графика играет ключевую роль в различных сферах жизни, начиная от развлекательной индустрии и заканчивая научными и инженерными областями. Использование компьютерной графики проникает во все аспекты нашей повседневной жизни, обеспечивая нам новые возможности в визуализации информации, создании виртуальных миров, моделировании процессов и многом другом. Трёхмерное моделирование играет важную роль в различных отраслях, таких как анимация, игровая индустрия, инженерное проектирование и медицинское моделирование.

Трёхмерное моделирование является важным инструментом в современной компьютерной графике, анимации, дизайне и других областях. Для создания реалистичных трехмерных объектов необходимо заполнить поверхность модели специальными полигонами, такими как треугольники или четырехугольники. Этот процесс играет ключевую роль в определении внешнего вида и поведения трехмерных моделей.

Одним из ключевых аспектов трехмерного моделирования является разработка способов заполнения трехмерных моделей специальными полигонами. Этот

процесс имеет методологические основания, определяющие эффективные подходы к созданию детализированных и реалистичных трехмерных объектов, включает в себя изучение математических принципов геометрии, алгоритмов растеризации, оптимизации и эффективности вычислений. Этот процесс также задействует в себе анализ требований конечного использования моделей, учет особенностей отображения на экране и другие аспекты, необходимые для создания реалистичных и оптимизированных трехмерных моделей.

Заполнение трехмерных моделей полигонами является важным этапом в процессе создания реалистичных и детализированных 3D-моделей. Полигональное моделирование позволяет аппроксимировать сложные формы и поверхности с помощью множества многоугольников, называемых полигонами.

Актуальность заполнения трехмерных моделей полигонами заключается в следующем:

1. Реализм и детализация: чем больше полигонов используется для заполнения модели, тем более реалистичной и детализированной она будет выглядеть. Полигональное моделирование позволяет создавать сложные формы с высокой степенью детализации.
2. Оптимизация и производительность: при создании игр, анимаций или визуализаций важно найти

баланс между количеством полигонов и производительностью. Оптимальное заполнение модели полигонами позволяет сохранить высокое качество изображения при этом не перегружая систему.

3. Возможность работы с моделью: Заполнение трехмерных моделей полигонами облегчает работу с ними при последующей обработке, текстурировании, анимации и экспорте в различные форматы.

Целью работы является анализ методической литературы, посвященной заполнению объемных моделей специализированными полигонами, рассмотрим основные принципы и методы разработки способов заполнения трехмерных моделей специальными полигонами, их влияние на качество моделей и перспективы использования данной техники в будущем.

Ранее уже говорилось о том, что применение технологии заполнения полигонами трехмерных моделей применяется при создании моделей разных направленностей: анимация, графический дизайн, проектирование объемных моделей (интерьерного и строительного характера). Это позволяет говорить о большой востребованности технологии моделирования, а следовательно, и заполнения объектов моделей базовыми композициями.

Рассмотрим, что же в целом можно называть моделью, в том числе и трёхмерной, а также различные варианты разработки способов заполнения трёхмерных моделей специальными полигонами.

Под моделью понимается некоторое приближение, описывающее с той или иной точностью реальные свойства заданного объекта или процесса. Рассмотрим модели объектов, к которым следует отнести разнообразные приборы и системы, их узлы и детали. Модели технологических и производственных процессов будут в основном рассматриваться как процессы смены состояний объектов — например, изменение состояния операционной заготовки при ее обработке или изменение состояния изделия при сборке.

Модели могут быть классифицированы по двум критериям. Первым критерием является принадлежность модели к классу физических или классу аналитических. Физические модели изготавливаются из реальных материалов, тогда как аналитические представляют собой расчетные или геометрические компьютерные модели, которые могут включать в себя также и графические модели, с которыми удобно работать в теории и практически применять при работе с готовыми объектами.

Второй критерий относит модель к классу локальных или классу полных. Полная модель отражает большин-

ство свойств объекта или процесса, тогда как локальная обеспечивает моделирование одного или незначительного числа свойств. Например, полная физическая модель (прототип) изделия может быть передана потребителям в целях тестирования основных проектных решений (концепции изделия), в это же время локальные модели используются для анализа и отработки отдельных проектных решений.

Под 3D моделью объекта понимают его пространственную (трехмерную) компьютерную геометрическую модель, которая может включать в себя также набор атрибутов, описывающих объект. 3D модели могут создаваться на различных этапах жизненного цикла изделия (ЖЦИ). Условно эту схему можно представить в виде схемы, содержащие этапы:

1. Идея.
2. Поиск поддержки (спонсоров и компаньонов).
3. Проектирование.
4. Технологическая подготовка производства (аналитическая и практическая).
5. Производство (в свою очередь можно разделить на техническое создание, проверка целостности системы, оценка адекватности созданной модели, проверка на наличие ошибок внутри производства и первоначальное тестирование полученного продукта).
6. Реализация.
7. Эксплуатация и оценка сторонними пользователями полученного продукта.
8. Ремонт и обслуживание.
9. Усовершенствование.
10. Утилизация.

Первые два пункта этой схемы можно оставить в стороне, так как зарождение идеи появляется в случае полученного спроса на тот товар или вид деятельности, который эта идея способна устранить. Этап поиска спонсоров является обязательным для реализации любого проекта, так как финансовые вложения и влияния должны поступать из вне для получения развития запущенного проекта.

Этап проектирования иногда разделяют на концептуальное проектирование и рабочее (детальное) проектирование. Концептуальное проектирование формируют и уточняют технические требования к изделию, осуществляются поиск и выбор принципиальных решений, обеспечивающих требуемую функциональность. При детальном проектировании выбранные концептуальные решения конкретизируются, определяются состав узлов и деталей, точные геометрические размеры изделия, а также используемые материалы, формируется конструкторская документация в том виде, в котором её изначально задумывали, пытаясь создать тот продукт, который был изначально задуман.

Этап концептуального проектирования 3D модели могут использоваться для представления концептуальных решений, как, например, при создании некоторого механического устройства. Это также позволяет осуществить анализ и отбор последующих решений по продвижению первоначальной идеи. На старте рабочего продукта использование конструктора 3D моделей позволяет объединять черновой вариант продукта с усовершенствованными функциями и объемам, которые не были доступны в плоскости на бумаге. Новые представления геометрической информации об изделии позволяют производить компьютерные вычисления больших массивов данных в разы быстрее, позволяя анализировать даже самые мелкие узлы и детали.

Мысленные образы чертежей с помощью 3D конструктора заменяются образами моделей, что позволяет не только приобрести более глубокое пространственное мышление, но также и проявить свою творческую натуру. Это также подкрепляется и свободой в использовании сложных геометрических фигур, которые доступны в различных модуляторах.

Еще одним преимуществом использования 3D конструкторов можно считать работу с готовыми (аналоговыми) продуктами, которые нуждаются в некой доработке. Благодаря широким возможностям современных технологий, конструктору не придется начинать с нуля работу над таким проектом, так как в систему изначально заложен анализ того объекта (продукта, товара), над которым идет работа в диалоговом окне (рабочем режиме).

И самым главным преимуществом, которое можно выделить в данном способе, разработки моделей можно считать уменьшение количества ошибок за счет автома-

тической проверки: конструктор наглядно может увидеть результат своей работы в процессе проектирования, виды чертежа формируются на основании модели автоматически, поэтому не может возникнуть ситуация конфликта данных. При проектировании сборочных единиц имеется возможность проверять собираемость и выявлять ошибки своевременно, если таковые возникают.

Полигональная сетка — это самый распространенный способ создания 3D-моделей из простых плоских фигур, таких как, например, треугольники или четырехугольники. Для моделирования трехмерного нового шара на бумаге нам нужно использовать лишь свои школьные знания о стереометрии, пару чертежных принадлежностей и бумагу. Но компьютеру может быть сложно обрабатывать гладкую сферу в графическом редакторе, поэтому для упрощения работы он превращает все изогнутые поверхности в совокупности плоских геометрических фигур, например четырехугольников. Каждый из них — это полигон, а все они вместе — полигональная сетка, потому что визуально напоминают сеть из нитей. Пример работы с полигонами можно увидеть на рисунке 1.

Одним из методологических оснований разработки способов заполнения трехмерных моделей полигонами является минимизация числа полигонов при сохранении необходимой детализации и формы. Это позволяет оптимизировать процесс отображения модели на экране компьютера или другом устройстве, что особенно важно при работе с большими объемами данных.

Один из основных подходов к минимизации числа полигонов — это использование техник сокращения полигонов (polygon reduction techniques). Эти методы позво-

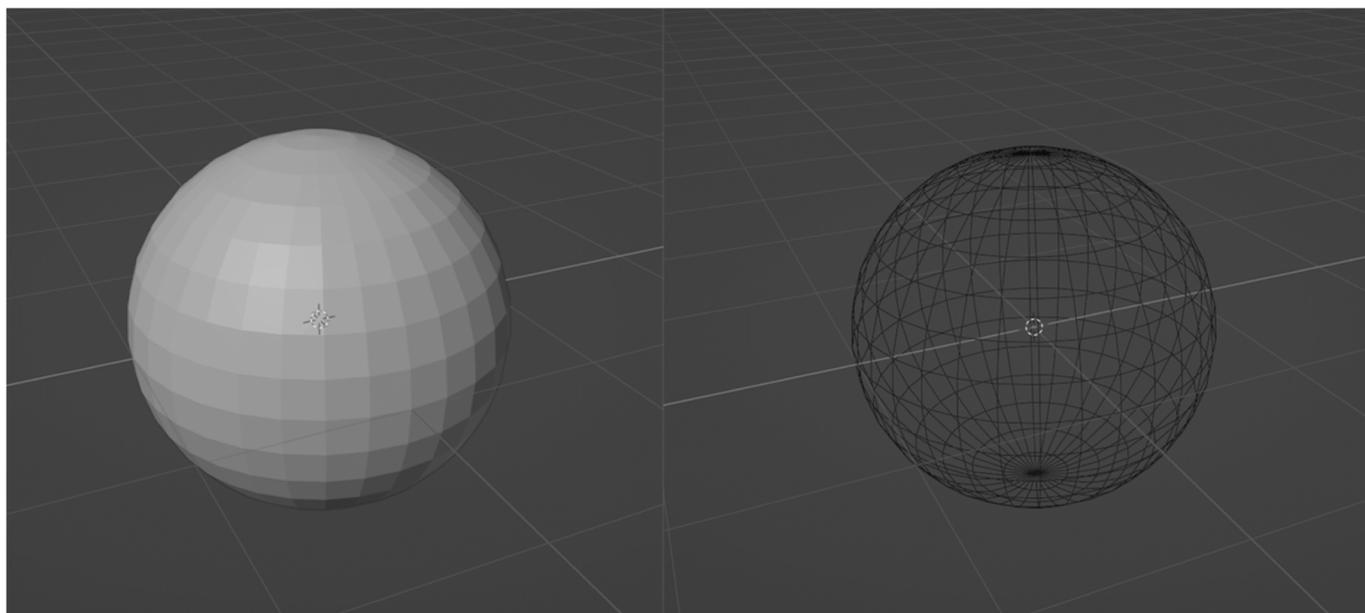


Рис. 1. Пример заполнения объекта полигонами

ляют автоматически уменьшать количество полигонов путем объединения и упрощения геометрических деталей модели. Такие техники особенно полезны при работе с высоко детализированными моделями, например, при создании персонажей для видеоигр или анимации.

Другой способ минимизации числа полигонов — это использование упрощенных версий модели для различных уровней детализации. Например, для дальних планов в играх или анимациях можно использовать менее детализированные версии модели, что позволит существенно сократить количество полигонов и улучшить производительность при рендеринге.

Также важно учитывать оптимальное распределение полигонов по модели, чтобы сохранить её форму и детализацию, используя минимальное количество полигонов. Это требует баланса между количеством полигонов и качеством визуального представления модели.

Минимизация числа полигонов имеет ряд преимуществ, таких как улучшение производительности при обработке и отображении моделей, уменьшение занимаемого ими места в памяти компьютера, а также повышение эффективности работы с трехмерными объектами в различных программах и движках. В целом, минимизация числа полигонов при создании трехмерных моделей является важным шагом для оптимизации процесса работы с графикой и обеспечения высокой производительности и качества визуального представления моделей в различных приложениях и средах.

Другим важным аспектом является сохранение топологии модели при заполнении полигонами. Правильная топология обеспечивает правильное отображение объ-

екта, его анимацию и взаимодействие с другими объектами в сцене. Поэтому разработка способов заполнения трехмерных моделей должна учитывать этот фактор для обеспечения корректного функционирования модели.

Топология модели определяет структуру её геометрии и взаимосвязи между вершинами, рёбрами и полигонами. При заполнении модели новыми полигонами необходимо учитывать сохранение этой.

Один из ключевых аспектов сохранения топологии модели при добавлении новых полигонов — это соблюдение правил её геометрической структуры. Например, при добавлении новых полигонов следует учитывать порядок обхода вершин (вершины должны быть упорядочены по часовой или против часовой стрелке), а также правильное соединение рёбер и полигонов для предотвращения появления искажений или ошибок в модели.

Так же важным аспектом является сохранение симметрии и пропорций модели при добавлении новых полигонов. При создании дополнительной геометрии необходимо учитывать равномерное распределение деталей по всей модели, чтобы избежать искажений формы и сохранить её естественный вид.

Необходимо соблюдать плавность поверхности модели при заполнении новыми полигонами. Для этого рекомендуется использовать инструменты сглаживания и подгонки формы, чтобы обеспечить естественные переходы между существующей и новой геометрией. Пример сглаживания можно увидеть на рисунке 2.

При разработке способов заполнения полигонами трехмерных моделей ученые и инженеры сталкиваются

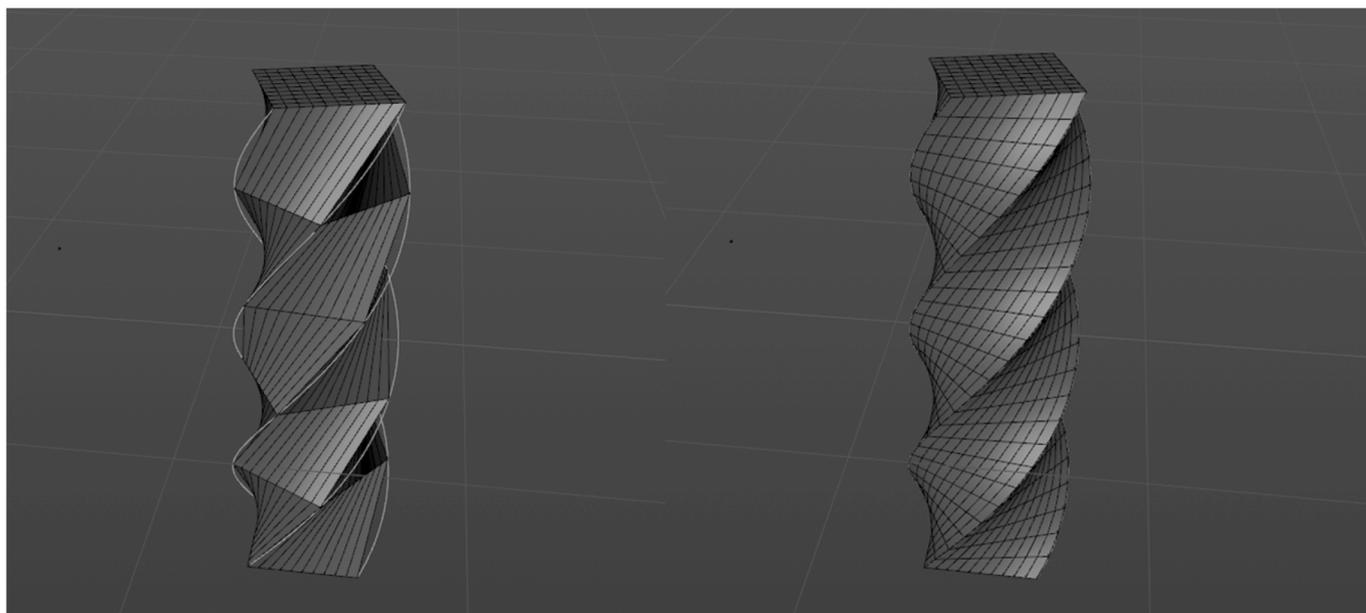


Рис. 2. Пример применения сглаживания при заполнении неровной фигуры полигонами

с рядом сложностей, требующих уникальных подходов и инновационных решений. Одной из основных задач является оптимизация производительности алгоритмов, чтобы обеспечить быструю и эффективную обработку моделей с тысячами и даже миллионами полигонов.

Создание алгоритмов, способных правильно заполнять сложные формы и сохранять топологию модели, является еще одним важным аспектом разработки. Такие алгоритмы должны учитывать особенности геометрии объектов, правильно соединять вершины и рёбра, а также обеспечивать плавные переходы между полигонами.

Для повышения качества визуализации трехмерных моделей алгоритмы заполнения полигонами также должны поддерживать текстурирование и освещение. Это позволяет создавать реалистичные сцены с деталями и эффектами, приближенными к реальному миру.

В процессе разработки новых способов заполнения трехмерных моделей полигонами используются современные методы машинного обучения, компьютерного зрения и глубокого обучения. Эти технологии позволяют создавать более точные и эффективные алгоритмы, способные обрабатывать сложные сцены и объекты с высокой степенью реализма.

Быстрые и оптимизированные алгоритмы позволяют работать с трехмерными моделями в реальном времени, что особенно актуально для игровой индустрии и виртуальной реальности.

Говоря об эффективности алгоритмов заполнения полигонами, можно выделить несколько ключевых моментов из уже названных ранее:

1. Оптимизация производительности: эффективные алгоритмы заполнения полигонами позволяют быстро и эффективно обрабатывать трехмерные модели даже с большим количеством полигонов. Оптимизированный код алгоритма способствует снижению нагрузки на вычислительные ресурсы и ускоряет процесс визуализации.
2. Сохранение топологии: хорошие алгоритмы заполнения полигонами учитывают сохранение топологии модели, обеспечивая правильное соединение вершин, рёбер и полигонов. Это помогает избежать ошибок и искажений в геометрии объекта. Ранее уже отмечалась важность сохранения топологических аспектов в работе с трехмерными изображениями, поэтому необходимо отметить, насколько легче может стать этот процесс благодаря эффективному алгоритму.
3. Поддержка сложных форм: эффективные алгоритмы позволяют заполнять полигональные сетки с различными формами и сложными геометрическими особенностями. Они способны обрабаты-

вать как простые, так и сложные модели, сохраняя при этом высокое качество визуализации. Некоторые алгоритмы заполнения полигонами обладают возможностью автоматического сглаживания поверхности модели и добавления дополнительной детализации.

4. Поддержка текстурирования и освещения: хорошие алгоритмы заполнения полигонами учитывают особенности текстурирования и освещения трехмерных моделей. Они позволяют корректно отображать текстуры на поверхности объектов и учитывать освещение для создания реалистичных эффектов.

Наконец, при разработке способов заполнения трехмерных моделей полигонами необходимо учитывать потребности конечного пользователя. Различные отрасли требуют различных подходов к моделированию, поэтому методология должна быть гибкой и адаптированной под конкретные задачи.

Разработки способов заполнения трехмерных моделей специальными полигонами включают в себя оптимизацию числа полигонов, сохранение топологии, эффективность алгоритмов и учет потребностей пользователей. Правильный подход к этому процессу позволяет создавать качественные и реалистичные трехмерные модели, отвечающие требованиям современных отраслей компьютерной графики.

Конечная цель разработки эффективных алгоритмов заполнения трехмерных моделей полигонами заключается не только в создании красивых и реалистичных изображений, но и в обеспечении интерактивности и плавности отображения в реальном времени. Это особенно важно для видеоигр, виртуальной реальности, анимации и других областей, где требуется быстрая обработка трехмерных данных.

Важным аспектом является также поддержка различных форматов файлов для трехмерных моделей, что позволяет эффективно обмениваться данными между различными программами и платформами. Стандарты, такие как OBJ, FBX, Collada и другие, играют ключевую роль в обмене трехмерными моделями между различными приложениями.

В будущем развитие технологий компьютерной графики будет продолжать улучшать алгоритмы заполнения трехмерных моделей полигонами, делая визуализацию более реалистичной, эффективной и доступной для широкого круга пользователей.

Трехмерное моделирование является важным инструментом в современной компьютерной графике, анимации, дизайне и других областях. В создании ре-

алистичных трехмерных объектов необходимо заполнять поверхность модели специальными полигонами. И именно этот процесс играет ключевую роль в определении внешнего вида и поведения трехмерных моделей. Полигональные сетки используют для проектирования, моделирования и анализа зданий, мостов, дорог, метрополитена и других архитектурных объектов. Они позволяют визуализировать и оптимизировать форму,

структуру, материалы и функциональность сооружений, проверять их устойчивость и надежность.

В будущем развитие компьютерных технологий будет совершенствоваться, а значит и графические приложения будут становиться мощнее и лучше, продолжая совершенствоваться в том числе и в заполнении трехмерных моделей полигонами.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Assassin's Creed II — официальный сайт. URL: <https://www.ubisoft.com/en-gb/game/assassins-creed/assassins-creed-II> (Дата обращения: 16.05.2024)
2. Bruce Baumgart, Winged-Edge Polyhedron Representation for Computer Vision. National Computer Conference, May 1975. Архивированная копия. URL: <https://www.baumgart.org/winged-edge/winged-edge.html> (Дата обращения: 15.05.2024)
3. Аммерал Л. Машинная графика на персональных компьютерах / Л. Аммерал; пер. с англ. — М.: Сол Систем, 2019. — 232 с.
4. Проектирование полигонов твердых бытовых отходов / О.П. Дружакина. — Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2022. — 28 с.
5. СанПиН 2.1.7.722–98 Требования к устройству и содержанию полигонов.

---

© Зуев Дмитрий Денисович (dimastik.9911@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ЭВРИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ANDROID

## HEURISTIC APPLICATIONS ANALYSIS SOFTWARE TOOL DEVELOPMENT FOR THE ANDROID OPERATING SYSTEM

**S. Kozhemyakin**  
**A. Selin**  
**S. Gorelik**  
**A. Bugaev**

*Summary.* This article presents a study of the security of mobile applications by identifying encrypted content within them. As part of the study, a software tool was developed for statistical analysis of the contents of application installation files for the Android operating system. The open-source package of statistical tests — NIST (The National Institute of Standards and Technology) — is used as a mathematical algorithm. For implementation, the Android Studio development environment and Java programming language were used. The proposed analysis method can be used as a complement to existing heuristic tools and algorithms used by antivirus software.

*Keywords:* analysis of mobile applications, statistical analysis of files, information security.

На сегодняшний день мобильные телефоны стали неотъемлемой частью нашей жизни. Помимо основного средства коммуникации, смартфоны используются для покупок, хранения личных данных, управления финансами, получения государственных и иных услуг. Вместе с этим появились новые угрозы конфиденциальности и безопасности. Мошенники и киберпреступники активно используют вредоносные мобильные приложения в своих целях.

Защитить от такого рода атак призваны антивирусные приложения, а также системные компоненты защиты, предусмотренные производителями. Для операционной системы Android таким компонентом является Google Play Protect [1]. Также проверки приложений на безопасность осуществляются на этапе публикации в официальном магазине приложений Play Market. Однако в связи

*Аннотация.* В данной статье представлено исследование безопасности мобильных приложений путем выявления зашифрованного контента в их составе. В рамках исследования был разработан программный инструмент статистического анализа содержимого установочных файлов приложений для операционной системы Android. В качестве математического аппарата используется пакет статистических тестов с открытым исходным кодом — NIST (англ. The National Institute of Standards and Technology). Для реализации использовалась среда разработки Android Studio, язык программирования — Java. Предложенный способ анализа может использоваться как дополнение к существующим эвристическим инструментам и алгоритмам, применяемым антивирусным программным обеспечением.

*Ключевые слова:* анализ мобильных приложений, статистический анализ файлов, информационная безопасность.

с многочисленными блокировками российских приложений (в том числе приложений финансового сектора) пользователи всё чаще загружают установочные файлы программ на свой смартфон из различных сторонних источников.

Установочный файл приложения для операционной системы Android — это, как правило, файл с расширением \*.apk, являющийся в свою очередь ZIP-архивом. Помимо скомпилированного кода в архиве могут содержаться различные файлы и компоненты. Согласно отчетам [2–3] исследовательских компаний в области кибербезопасности, зачастую такие файлы представляют собой зашифрованный исполняемый код, который динамически расшифровывается во время работы приложения.

**Кожемякин Сергей Юрьевич**

ассистент,

МИРЭА Российский технологический университет

sergei.unk@yandex.ru

**Селин Андрей Александрович**

доцент,

МИРЭА Российский технологический университет

chuknor@yandex.ru

**Горелик Сергей Сергеевич**

старший преподаватель,

МИРЭА Российский технологический университет

gorelikss@rambler.ru

**Бугаев Александр Александрович**

старший преподаватель,

МИРЭА Российский технологический университет

sansanych.bugaev@yandex.ru

В антивирусном программном обеспечении наиболее распространены два метода обнаружения вредоносных приложений — это эвристический и сигнатурный анализ [4].

Сигнатурный анализ оценивает форму файла, занимаясь поиском строк и шаблонов, совпадающих с уже известными образцами вредоносного ПО. Однако при использовании зашифрованного кода такой метод анализа не демонстрирует достаточной точности.

Эвристический анализ оценивает функционал файла, используя специальные алгоритмы и шаблоны для отслеживания возможной подозрительной активности или поведения. В основе работы эвристического анализатора лежит набор предположений или эвристик о характерных признаках вредоносного или безопасного кода. Каждый признак кода имеет определенный вес (т. е. число, показывающее важность и достоверность этого признака). Таким признаком может являться зашифрованный контент в составе установочного пакета приложения.

Антивирусные компании не раскрывают особенностей алгоритмов работы своих анализаторов, чтобы разработчики вредоносного программного обеспечения не смогли адаптировать свои приложения к средствам защиты. В рамках данной работы предлагается использовать математический аппарат с открытым исходным кодом, который позволит расширить возможности по детектированию подозрительного контента и ограничивать установку приложения до момента его запуска.

### Постановка задачи

Целью работы является повышение безопасности использования мобильных приложения для операционной системы Android за счет разработки специального программного решения для статистического анализа компонентов установочного пакета формата APK (англ. Android Package Kit).

Основные задачи, решаемые в работе:

- исследование предметной области;
- обзор существующих методов оценки статистических свойств файлов;
- адаптация алгоритмов оценки статистических свойств битовых данных;
- создание программного продукта для операционной системы Android на основе проведенных исследований.

Объект исследования — безопасность мобильных приложений для операционной системы Android.

Предмет исследования — выявление небезопасных мобильных приложений на основе статистических свойств файлов из состава установочного пакета приложения для операционной системы Android.

Для проведения исследования были подготовлены 2 тестовые выборки. Каждая выборка содержит 100 мобильных приложений. Первая выборка [5] состоит из легитимных приложений для личного использования, вторая [6] — из образцов известных вредоносных приложений. Приложения из обеих выборок содержат дополнительные файлы в составе установочных пакетов.

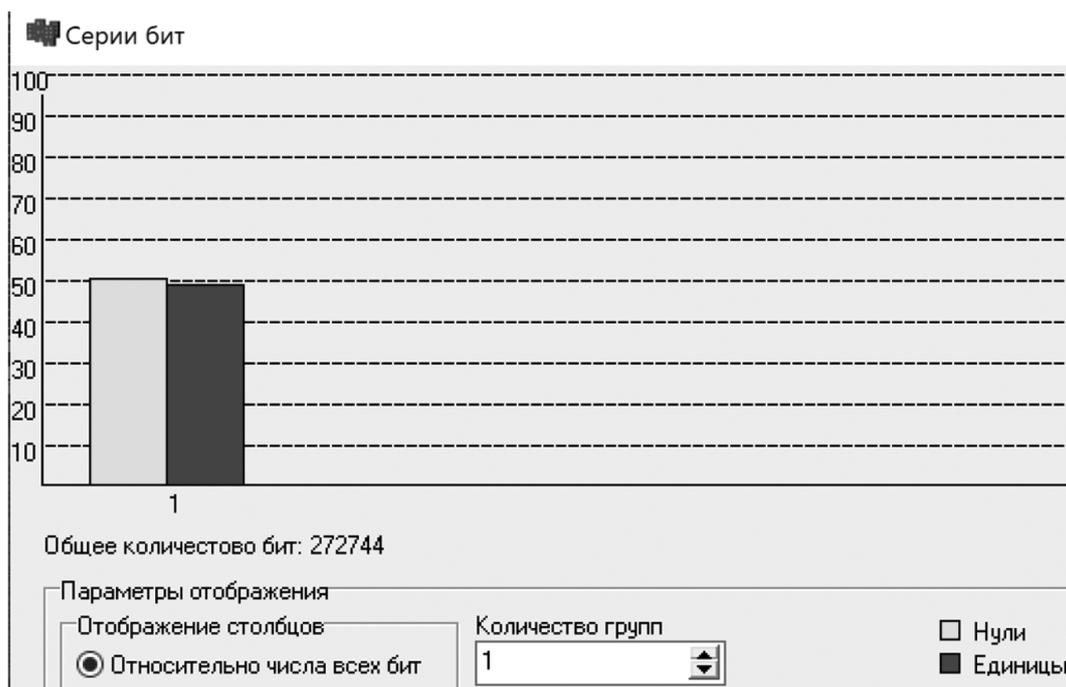


Рис. 1. Распределение битов в файле omsdk-v1.js из состава установочного пакета легитимного приложения

### Особенности существующих методов оценки статистических свойств цифровых данных

В результате исследования известных подходов к оценке статистических характеристик файла были рассмотрены графические и оценочные тесты, применяемые для анализа цифровых последовательностей на стохастичность.

Графические тесты обладают недостатком с позиции точности в интерпретации результатов. Решение о стохастичности входной последовательности в конечном счете принимается оператором визуально, что в ряде случаев приводит к ошибкам.

Основным преимуществом, которым обладают оценочные тесты по сравнению с графическими, является то, что оценочные тесты характеризуются численной характеристикой, которая позволяет однозначно определить, пройден тест или нет.

Простейшим методом оценки статистических свойств является подсчет доли битов 1 и 0 в исследуемом файле. При использовании этого метода на легитимной выборке приложений эксперимент показал большую долю ошибки второго рода ( $\beta$ -ошибка) — более 20 %. Некоторые файлы из состава установочного пакета приложения имеют близкое распределение битов:

То есть, безопасные файлы легитимных приложений могут быть отмечены как зашифрованные.

Наиболее известные оценочные тесты для анализа последовательностей на случайность: тесты Кнута, DIEHARD и тесты NIST. Для тестов Кнута отмечаются следующие недостатки [7]:

- отсутствие рекомендуемых параметров тестирования;
- методика оценки результатов является недостаточно четкой.

В результате анализа тестов DIEHARD определены следующие недостатки:

- отсутствие четко сформулированной методики трактовки результатов;
- большинство тестов основано на результатах испытаний;
- жесткое задание параметров тестирования.

В ходе анализа тестов, описанных в руководстве [8] NIST, было установлено, что недостатки, присущие исследованным ранее подборкам, в наибольшей степени были устранены. Подборка состоит из 15 различных тестов:

В тестах введена достаточно простая интерпретация алгоритмов, появилась возможность сведения оценок

Таблица 1.

Список тестов NIST

Частотный побитовый тест	Частотный блочный тест	Тест на последовательность одинаковых битов
Тест на самую длинную последовательность единиц в блоке	Тест рангов бинарных матриц	Спектральный тест
Тест на совпадение неперекрывающихся шаблонов	Тест на совпадение перекрывающихся шаблонов	Универсальный статистический тест Маурера
Тест на линейную сложность	Тест на периодичность	Тест приближенной энтропии
Тест кумулятивных сумм	Тест на произвольные отклонения	Альтернативный тест на произвольные отклонения

полученных результатов для каждого теста в одну общую оценку и возможность тестирования последовательностей практически любого размера. В алгоритмах тестирования использованы функции математической статистики, что позволяет более точно получить наблюдаемое значение для критериального сравнения. Данные тесты основаны на различных статистических свойствах, присущих только стохастическим последовательностям. Такой подход способен послужить мерой оценки случайности цифрового потока для его дальнейшего анализа.

### Адаптация алгоритмов оценки статистических свойств битовых данных и разработка программного решения

Для разработки программного средства (приложения) для операционной системы Android адаптирован код тестов NIST на языках программирования Java [9] и C++ [10]. Для принятия решения о результате выполненного теста происходит оценка полученного итогового значения с плавающей точкой  $p\_value$ . Корректным значением является любое число в диапазоне (0;1]. В результате запуска тестов на двух выборках приложений выявлены 11 тестов, показавших наиболее точные и корректные оценочные величины. Частотный побитовый тест, частотный блочный тест, тест на последовательность одинаковых битов и альтернативный тест на произвольные отклонения были исключены вследствие нестабильных результатов для приложений из разных выборок.

Исходя из полученных данных, разработано мобильное приложение, получающее у пользователя разрешение на установку других пакетов. При попытке установить любое приложение (файл APK) разработанное программное средство распаковывает указанный пакет

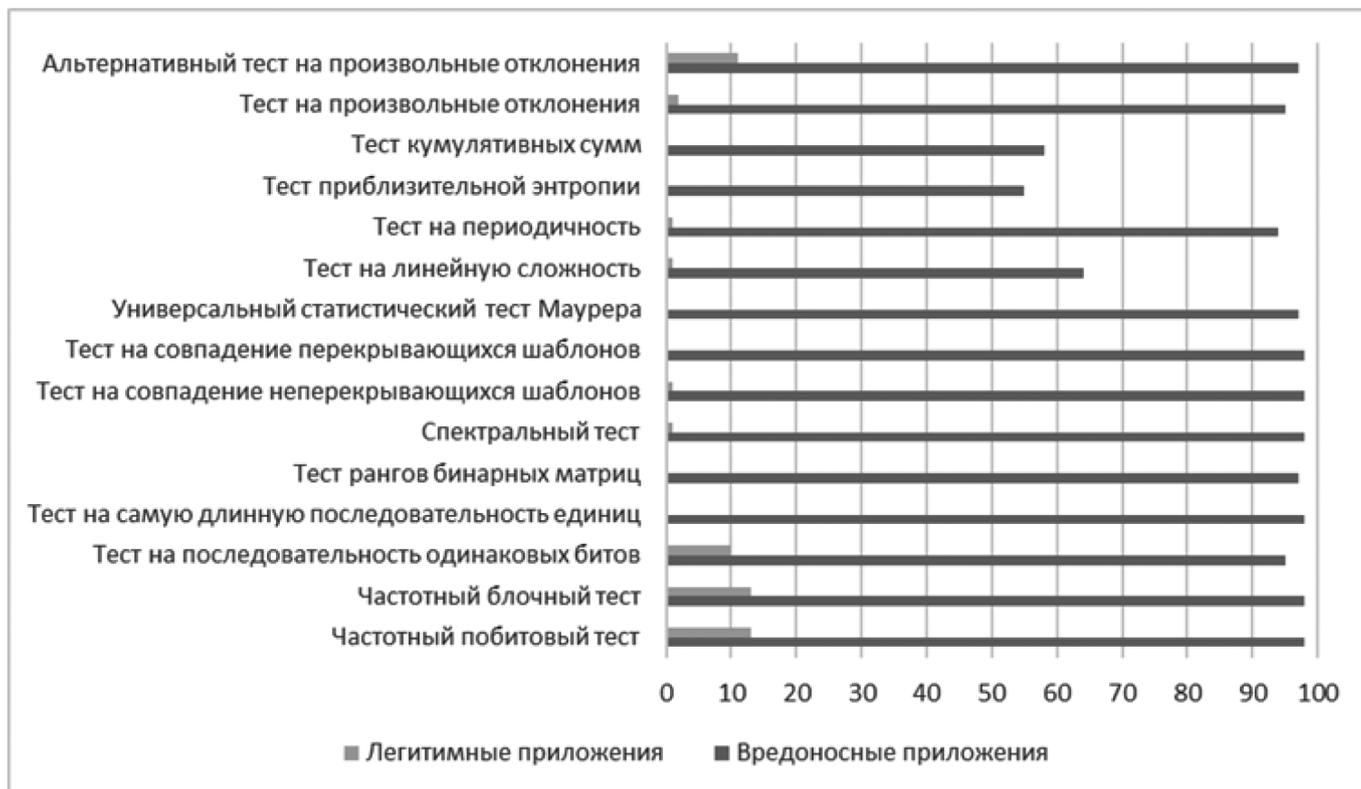


Рис. 2. Статистика успешно выполненных тестов для двух типов выборок



Рис. 3. Установка и проверка приложения с помощью разработанного программного средства

во внутреннюю память, разбивает полученные файлы из состава пакета на блоки (в рамках эксперимента — 100 Кб) и проводит их анализ по 11 выбранным тестам. Область принятия гипотезы о наличии псевдослучайных последовательностей — 6 и более успешно выполненных тестов. В таком случае установка приложения останавливается и пользователю отображается информирующее сообщение. При отсутствии таких блоков — установка продолжается и приложение запускается.

### Заключение

В работе рассмотрены проблемы детектирования зашифрованного контента в составе установочных па-

кетов для операционной системы Android, являющегося одним из отличительных признаков вредоносных приложений. Для решения данной проблемы предложен подход к оценке статистических свойств таких файлов с помощью математического аппарата тестов NIST. На основе открытого кода тестов NIST разработано мобильное приложение для демонстрации предложенной гипотезы. Данный способ может использоваться как дополнительный инструмент к антивирусным продуктам, расширяя возможности эвристического анализа.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Google Play Protect. — Текст: электронный — URL: <https://developers.google.com/android/play-protect> (дата обращения 10.05.2024)
2. Отчет компании «AtRedPiranha» — Текст: электронный — URL: <https://redpiranha.net/news/android-malware-dvmap-infected-devices-google-play-store-first-android-malware-has-code> (дата обращения 10.05.2024)
3. Отчет компании «INFOSEC» — Текст: электронный — URL: <https://www.infosecinstitute.com/resources/malware-analysis/mallocker-android-ransomware-what-it-is-how-it-works-and-how-to-prevent-it-malware-spotlight/> (дата обращения 10.05.2024)
4. Как киберпреступники пытаются обойти антивирусную защиту — Текст: электронный — URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/combating-antivirus> (дата обращения 10.05.2024)
5. Хранилище мобильных приложений. URL: <https://ru.uptodown.com/android/personal> (дата обращения 10.05.2024)
6. Хранилище образцов вредоносного программного обеспечения. URL: <https://bazaar.abuse.ch/browse.php?search=tag%3Aandroid> (дата обращения 10.05.2024)
7. Иванов М.А. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей / М.А. Иванов, И.В. Чугунков. — М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. — 240 с.
8. A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications, NIST SP 800-22 Rev. 1 — Текст: электронный — URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-22r1a.pdf> (дата обращения 10.05.2024)
9. steamfest/random test Электронный ресурс <https://github.com>. URL: <https://github.com/steamfest/randomtests> (дата обращения 10.05.2024)
10. jkerdels /NIST-Statistical-Test-Suite-C---Wrapper Электронный ресурс <https://github.com>. URL: <https://github.com/jkerdels/NIST-Statistical-Test-Suite-C---Wrapper> (дата обращения 10.05.2024)

© Кожемякин Сергей Юрьевич (sergei.unk@yandex.ru); Селин Андрей Александрович (chuknor@yandex.ru); Горелик Сергей Сергеевич (gorelikss@rambler.ru); Бугаев Александр Александрович (sansanych.bugaev@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ПРИМЕНЕНИЕ СМАРТ-КОНТРАКТОВ И АЛГОРИТМ ИХ РАБОТЫ

## THE USE OF SMART CONTRACTS AND THE ALGORITHM OF THEIR OPERATION

A. Korotkova

*Summary.* The article describes the historical characteristics and features of the development of smart contracts. From the origins of the technology developed by Nick Szabo to examples of the use of technology in modern times. Details such as the intricacies of smart contracts, their advantages, and disadvantages, as well as algorithms and further steps that will be presented to the participants of the transaction who decide to apply a smart contract will also be touched upon. Additionally, species were identified and described.

*Objectives.* To study the application of smart contracts and the algorithm of its operation to determine the need for automation of the settlement process between several participants.

*Tasks.* To conduct a study of the historical aspect of smart contracts and analyze the work of modern smart contracts.

*Methods.* The work used the collection, analysis, and systematization of information.

*Results.* A study of the historical aspect of smart contracts, an analysis of the logic of modern smart contracts and their distinctive features for making decisions about automation.

*Conclusions.* The conclusion is made about why it may not be useful for companies to automate the settlement process using a smart contract.

*Keywords:* smart contract, automation, calculations, contract, algorithm.

**Короткова Анастасия Станиславовна**

Бакалавр, Финансовый университет  
при Правительстве Российской Федерации г. Москва  
akorotkova310@gmail.com

*Анотация.* В статье описываются исторические характеристика и особенности развития смарт-контрактов. От истоков развития технологии, разработанной Ником Сабо, и до примеров применения технологии в современности. Будут затронуты и такие детали как тонкости работы смарт-контрактов, их достоинства и недостатки, а также алгоритмы и дальнейшие шаги, которые предстанут перед участниками сделки, решившим применить смарт-контракт.

*Цели.* Исследование применения смарт-контрактов и алгоритма его работы с целью определения необходимости в проведении автоматизации процесса расчётов между несколькими участниками.

*Задачи.* Провести исследование исторического аспекта смарт-контрактов и анализ работы современных умных договоров.

*Методы.* В работе использовались сбор, анализ и систематизация информации.

*Результаты:* Проведены исследование исторического аспекта смарт-контрактов, анализ логики работы современных умных договоров и их отличительные особенности для принятия решения об автоматизации.

*Выводы.* Сделан вывод о том, почему компаниям может быть бесполезно автоматизировать процесс расчётов с использованием смарт-контракта.

*Ключевые слова:* смарт-контракт, автоматизация, расчёты, договор, алгоритм.

Считается, что развитие блокчейна делится на несколько этапов, один из которых связан со смарт-контрактами. Их эволюция приходится на 2014–2015 год, когда Виталик Буторин представил Ethereum, первую блокчейн-платформу смарт-контрактов, однако концепция была разработана задолго до этого. В 1996 году американский криптограф Ник Сабо представил собственную работу «Смарт-контракты: строительные блоки для цифровых рынков», в которой дал определение понятию «смарт-контракт». Автор пишет, что это набор обещаний, заданных в цифровой форме, в том числе протоколы, в рамках которых проводятся и контролируются сделки с помощью математических алгоритмов. Главные задачи разработки — заключение договорных обязательств в аппаратное обеспечение и усложнение совершения их нарушения. Основных целей четыре: наблюдение, то есть возможность отслеживать выполнение условий контракта его участниками, вторая — возможность проверки/контроля, позволяющая при необходимости предоставить судье те или иные доказательства исполнения/нарушений, третьей является

конфиденциальность, подразумевающая сохранение наиболее важной и приватной информации от третьих лиц или дополнительных участников сделки, четвёртая — исполняемость, точнее то, что способствует выполнению условий [1].

В 2014 году, взяв за основу концепцию Никко Сабо, Виталий (более известный, как Виталик) Буторин расширил его функционал, создав более подходящий протокол для создания синтеза между биткоином, блокчейном и смарт-контрактом.

Но что же сейчас, после различных преобразований с момента выхода концепции Сабо, подразумевает под собой «умный контракт»? Главный смысл остался тем же. Смарт-контракт представляет собой заранее прописанный и установленный алгоритм, контролирующий выполнение условий и интегрированный в код блокчейна. Простым примером может выступить процесс оплаты кредита. В случае неуплаты в срок установленной суммы долга счёт должника блокируется до внесения платежа

в банк. Более того, смарт-контракт можно связать с логикой работы умного устройства. В дополнение к примеру с кредитом банк может ограничить или полностью исключить работоспособность указанного в договоре интеллектуального оборудования, относящегося к IoT [2].

Стоит учесть, что необязательно описывать все стадии сделки. Если участники предполагают автоматизировать только часть, то именно её и стоит указывать. В случае, если границы определены стоит задуматься над выбором типа смарт-контракта. Они [смарт-контракты] делятся на несколько видов по:

- Среде выполнения. В данном случае выделяют централизованные и децентрализованные платформы смарт-контрактов.
- Степени автоматизации. Полностью автоматизированные и не предполагающие использование бумажного носителя, частично автоматизированные с использованием дополнительных бумажных носителей.
- Степени анонимности. Выделяют конфиденциальные, частично открытые и полностью открытые.
- Механизму инициирования. Бывают ограниченными и предустановленными [3].

Смарт-контракты могут реализовать совершенно разный функционал: операции с цифровыми финансовыми активами (ЦФА), создание электронных документов по поручению клиента и последующая его отправка контрагенту, а также расчёты. Стоит отметить, что именно про последний способ использования далее и будет идти речь в выпускной квалификационной работе.

Общая картина взаимодействия между контрагентами выглядит следующим образом: участники согласовывают условия сделки, далее заключают договорную конструкцию [4], затем происходит поставка и расчёты (последовательность регулируется участниками), в конце обмен закрывающими документами. И благодаря смарт-контракту автоматизируется процесс списания-зачисления, обеспечивая сторонам гарантию выполнения обязательств. Для наиболее корректного и полноценного исполнения в нём прописываются обязательные реквизиты:

- Сумма обязательств;
- Роль участника (получатель средств/плательщик).

Отдельно стоит отметить, что специфические договорные конструкции, закрывающие обязательства, находятся вне рамок расчётов через автоматизирующий алгоритм.

Перед тем, как принимать решение об автоматизации блока расчётов в компании, стоит отдельно изучить преимущества и недостатки смарт-контракта. К достоинствам относят:

- Трудность несанкционированного доступа. С помощью кодирования документ шифруется так, что его почти невозможно будет взломать;
- Предотвращение мошеннических операций или невыполнения обязательств. Возможность защитить денежные средства либо же товар за счёт автоматизированного алгоритма, не позволяющего совершить операцию без наступления прописанных условий;
- Отсутствие возможности оформления/подписания «задним числом», что является частой проблемой при работе с бумажными версиями договора;
- Автоматизация процессов и быстрое исполнение;
- Отсутствие посредников при подписании и дополнительных расходов за их работу, кроме случаев, где участники умышленно привлекают третью сторону, медиатора [5];
- Широкое применение в различных областях: рынки недвижимости, ипотечная и кредитовая система, торговая деятельность, IoT и т.д.

Недостатки смарт-контракта:

- Необходимы специалисты, которые могут не только корректно описать логику работы алгоритма, но и при необходимости расшифровать её клиентам;
- Необходимо заранее прописать все возможные условия, при которых существует вероятность наступления изменений и обновлений, однако то же самое можно отнести и к бумажной версии;
- Вероятность появления технической ошибки при написании кода алгоритма, что может привести к несоответствующему исполнению обязательств;
- При неправильной трактовке условий сделки при постановке технического задания на исполнителя может возникнуть ситуация, когда код не соответствует действительности;
- На данный момент смарт-контракт не имеет точной правовой формы, его интерпретируют как договор по ст.420 ГК РФ, дополняющую договорную конструкцию и прочее [2, 6].

Алгоритм работы смарт-контракта чем-то схож с привычным бумажным договором. Стороны прописывают условия сделки и санкции в случае невыполнения обязательств, закрепляя в конце цифровыми подписями. Однако на момент наступления срока исполнения прослеживается главное отличие — алгоритм принимает решение: завершить сделку с совершением дальнейших операций с данными либо применить прописанные меры к не выполнившему. Поэтому главная ценность смарт-контракта — самоисполняемость обязательств, тем самым снижаются зависимость от контрагента и вероятность невыполнения условий и возможных дальнейших мошеннических операций.

Если компания принимает решение использовать смарт-контракты в своей деятельности либо в после-

дующих переговорах с контрагентами, стоит заранее понимать, какие общие этапы работы с ними [смарт-контрактами] существуют. При необходимости иметь «на руках» бумажную версию или желании автоматизировать только определённую часть сделки стороны заключается традиционный договор. Далее начинается подготовительный этап, характеризующийся технической составляющей, то есть разработка кода с условиями, его тестирование и загрузка в среду для исполнения, например в блокчейн. Следующий шаг — подписание договора с указанием ссылки на смарт-контракт, — осуществляется в зависимости от особенностей осуществляемой сделки и автоматизации процесса. Далее наступает этап активации с целью подтверждения старта алгоритма. Следом исполнение. Смарт-контракт начинает регулярно проверять условия сделки для определения момента, когда необходимо выполнить установленные шаги. На момент наступления триггерного события срабатывает прописанное участниками действие, которое зависит от выполнения или невыполнения обязательств участником.

Отдельно всё же стоит затронуть этап исполнения. Как было прописано ранее, он предполагает проверку условий, чтобы в момент наступления необходимой даты, совершить определённое действие в зависимости от имеющейся информации. Важно учесть, что для этого требуется получить входящие данные. Для этого существует 2 способа: ручной и автономный. Первый предполагает вмешательство человека, которому заранее

назначаются права на ввод данных и «прожатие» кнопки в интерфейсе для подтверждения выполнения этапа, которое не может быть исполнено по тем или иным причинам машиной, например, проверка качества поступившего товара. Второй не подразумевает человеческого влияния, и вместо него выступают оракулы. Они используются в качестве посредников для отправки запроса и их последующее получение из внешнего источника. Однако в данном случае возникает трудность с тем, чтобы проверить достоверность полученной информации. В таком случае принимается решение: либо предусмотреть дополнительный процесс проверки идентификации, либо участникам необходимо заранее установить используемые источники [7].

Таким образом, в век цифровых технологий участники сделки или отдельные компании могут обезопасить процесс расчётов за счёт использования смарт-контрактов и перевода из бумажного в электронный формат заключения договора. Однако перед тем, как осуществить переход к автоматизации данного процесса, необходимо в обязательном порядке ознакомиться с особенностями и алгоритмами работы умных контрактов, чтобы заранее определить на сколько необходим данный шаг в конкретном случае. Поскольку в случае с процессом, где быстрее и в разы дешевле будет заключить бумажный договор, а недостатки смарт-контрактов будут преувеличены над преимуществами в дальнейшей работе, лучшим решением будет отказаться от использования автоматизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Nick Szabo Smart Contracts: Building Blocks for Digital Markets // 1996 URL: <https://www.truevaluemetrics.org/DBpdfs/BlockChain/Nick-Szabo-Smart-Contracts-Building-Blocks-for-Digital-Markets-1996-14591.pdf> (дата обращения: 31.05.2024).
2. Что такое смарт контракты на блокчейне // vc.ru URL: <https://vc.ru/crypto/373518-что-такое-smart-kontrakty-na-blokcheyne> (дата обращения: 31.05.2024).
3. Что такое смарт-контракты: как работают, их типы и особенности // Moscov Digital School URL: <https://mosdigitals.ru/media/что-такое-smart-kontrakty-kak-rabotayut-ikh-tipy-i-osobennosti> (дата обращения: 01.06.2024).
4. Гражданский кодекс Российской Федерации (ГК РФ) от 30 ноября 1994 года N 51-ФЗ.
5. Введение в смарт-контракты // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/distributedlab/articles/413231/> (дата обращения: 01.06.2024).
6. Что такое смарт-контракт? // vc.ru URL: <https://vc.ru/crypto/613143-что-такое-smart-kontrakt> (дата обращения: 01.06.2024).
7. Вашкевич А.М. Смарт-контракты: что, зачем и как. — М.: Симплоер, 2018—89 с.

# ПОСТРОЕНИЕ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

## BUILDING ONTOLOGIES FOR INFORMATION OBJECTS

*E. Kritskova  
M. Kesya*

*Summary.* The article is devoted to the topic of ontology construction for information objects. Special attention is paid to the method of ontology construction. Ramus program was used for ontology building. Nowadays such a skill as the ability to present information about any object in the form of a conceptual scheme is very valuable. Large amounts of information often need to be conveyed to the audience in a short period of time, and various schemes, graphical representations and systems cope well with this. This is the relevance of this article. The purpose of this article is to describe the process of building ontologies of information objects using modern tools and technologies. As ontologies are used in many spheres of human activity, it is necessary to know and have skills of construction of various schemes. From what arise such tasks of research as: identification of methods by which the ontology is built, independent construction of ontology by steps and make conclusions on the work done. The result of the study is the structuring of ontology construction and, built on the derived algorithm own ontology. As a result of the study the following conclusions were made when building an ontology in any subject area it is necessary to adhere to a strict algorithm, and it is necessary to study in detail the subject area for which the ontology will be built.

*Keywords:* ontology, information object, artificial intelligence, information system, subject area.

*Крицкова Елизавета Андреевна*

*ФГБОУ ВО Поволжского государственного университета  
телекоммуникаций и информатики, г. Самара*

*Кеся Мария Сергеевна*

*ФГБОУ ВО Поволжского государственного университета  
телекоммуникаций и информатики, г. Самара*

*kesams2002@gmail.com*

*Аннотация.* Статья посвящена теме построение онтологии для информационных объектов. Особое внимание уделяется способу построения онтологии. При построении онтологии использовалась программа Ramus. В настоящее время очень ценится такой навык, как умение представлять информацию о каком-либо объекте в виде концептуальной схемы. Большие объёмы информации, зачастую, необходимо донести до аудитории за короткий промежуток времени, с этим хорошо справляются различные схемы, графические представления и системы. В этом состоит актуальность данной статьи. Целью данной статьи является описание процесса построения онтологий информационных объектов с применением современных средств и технологий. Так как онтологии применяются во многих сферах жизнедеятельности человека, необходимо знать и обладать навыками построения различных схем. Из чего вытекают такие задачи исследования, как: выявление методов, с помощью которых строится онтология, самостоятельное построение онтологии по шагам и сделать выводы по проделанной работе. Результатом исследования является структуризация построения онтологии и так же, построенная на выведенном алгоритме собственная онтология. В результате исследования были сделаны следующие выводы: при построении онтологии в любой предметной области необходимо придерживаться строгого алгоритма, а также необходимо детально изучить предметную область, для которой будет строиться онтология.

*Ключевые слова:* онтология, информационный объект, искусственный интеллект, информационная система, предметная область.

### Введение

**П**од онтологией в информационных системах и технологиях понимают попытку систематизации некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы, на основе которой строятся реальные объекты. Рассмотрим следующие определения для понимания нашей темы:

Онтология — это попытка подробно описать некоторую область знаний с помощью концептуальной схемы. Обычно такая схема состоит из структуры данных, их связи и правила, принятые в этой области.

Информационный объект — это описание некоторой сущности в виде совокупности логически связанных информационных элементов.

Объект исследования — онтология для информационных объектов. Под процессом понимается последовательность необходимых действий, чтобы представить информацию об информационном объекте в виде концептуальной схемы.

Процесс — это схематическое отображение взаимодействий разных объектов между собой.

В научной статье «Подход к построению предметной онтологии для портала знаний по компьютерной лингвистике» рассматривается подход к построению онтологии для портала знаний по компьютерной лингвистике. В результате был построена онтология портала знаний по лингвистике [6]. В научной статье «Методы и средства построения онтологий для визуализации связанных информационных объектов произвольной природы в сложных информационно-аналитических системах»

рассматривается онтология МКС. Чтобы наглядно представить информацию об информационном объекте или процессе, необходимо построить онтологию. Поэтому особый интерес вызывает изучение процесса построения концептуальной схемы (онтологии) различных процессов и объектов, так как схемы заметно упрощают восприятие происходящих в информационной системе процессов. Под концептуальной схемой здесь понимается модель, состоящая из взаимосвязанных по определенным правилам понятий и концепций. В нашей работе было принято решение сделать акцент на построение концептуальных схем на начальном этапе [11].

### Материалы и методы

Для построения онтологии информационного объекта было изучено большое количество научных статей и книг. И было принято решение использовать EDIEFO моделирование так, как именно оно может в элементарном и понятном для нас виде показать подробное описание процессов [3].

Так на рис. 1 мы можем подробно рассмотреть схему построения онтологий для информационных объектов.

В качестве ее детализации были подробно изучены и описаны входящие в нее процессы. Таким образом, была реализована декомпозиция контекстной диаграммы и разобрано детально построения онтологий, и на рис. 2 мы можем рассмотреть алгоритмы, входящие в построение онтологий.

Из рис. 2 следует, что в начале любой работы необходимо изучить материал и теорию, из которой затем сле-

дует выписать основные детали, которые используются в виде пометок. Затем мы приступаем непосредственно к реализации концептуальной схемы. В итоге мы получим онтологию для данного информационного объекта.

### Результаты

Для построения онтологии информационного объекта необходимо выделить 5 главных аспектов:

- классы;
- свойства;
- атрибуты;
- отношения;
- процессы.

Во-первых, необходимо выделить классы. Между собой классы связаны множеством отношений, которые помогают определить связь между классами онтологии. Далее описываются свойства классов, т.е. чем обладает данный класс. Затем идут атрибуты и процессы в данной информационной системе

В данной статье рассматривается онтология для портала книжного магазина, которая включает в себя такие классы, как автор книги, книга, магазин, раздел магазина, издатель.

Автор:

- ФИО

Книга:

- Год издания
- Формат

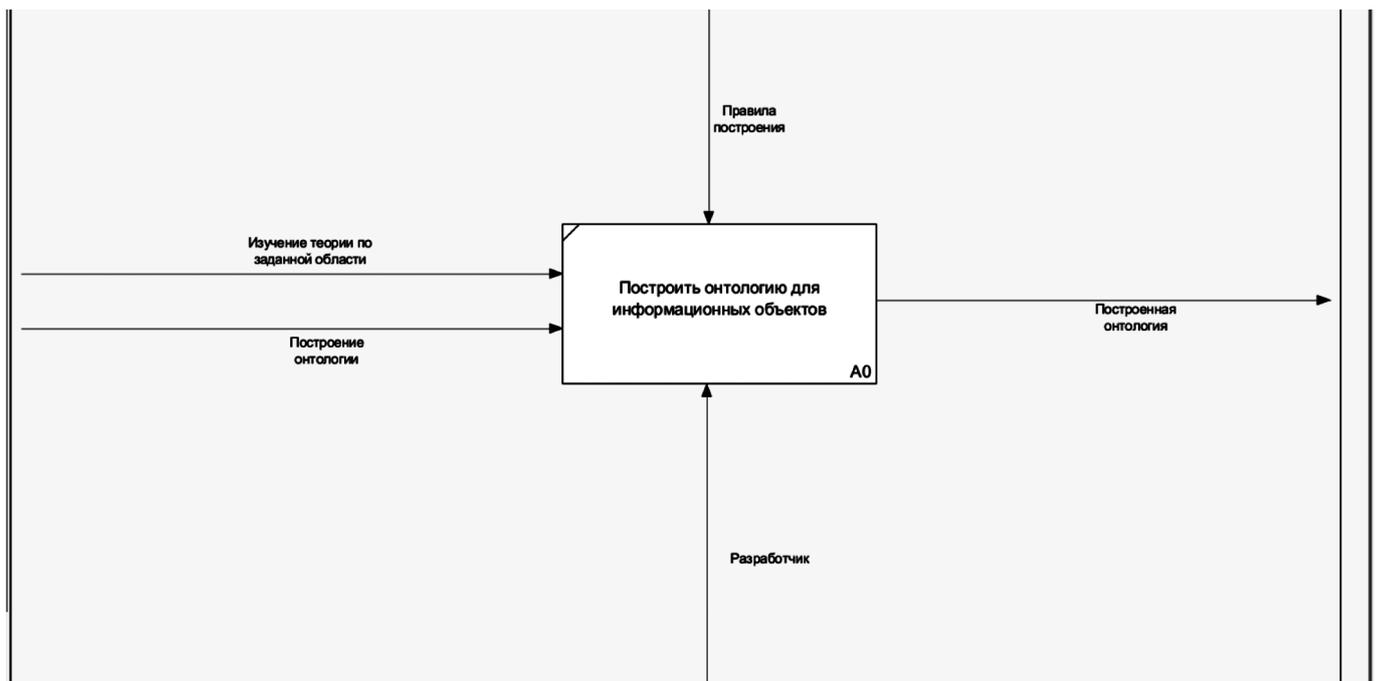


Рис. 1. Контекстная диаграмма построения онтологий для информационных объектов.

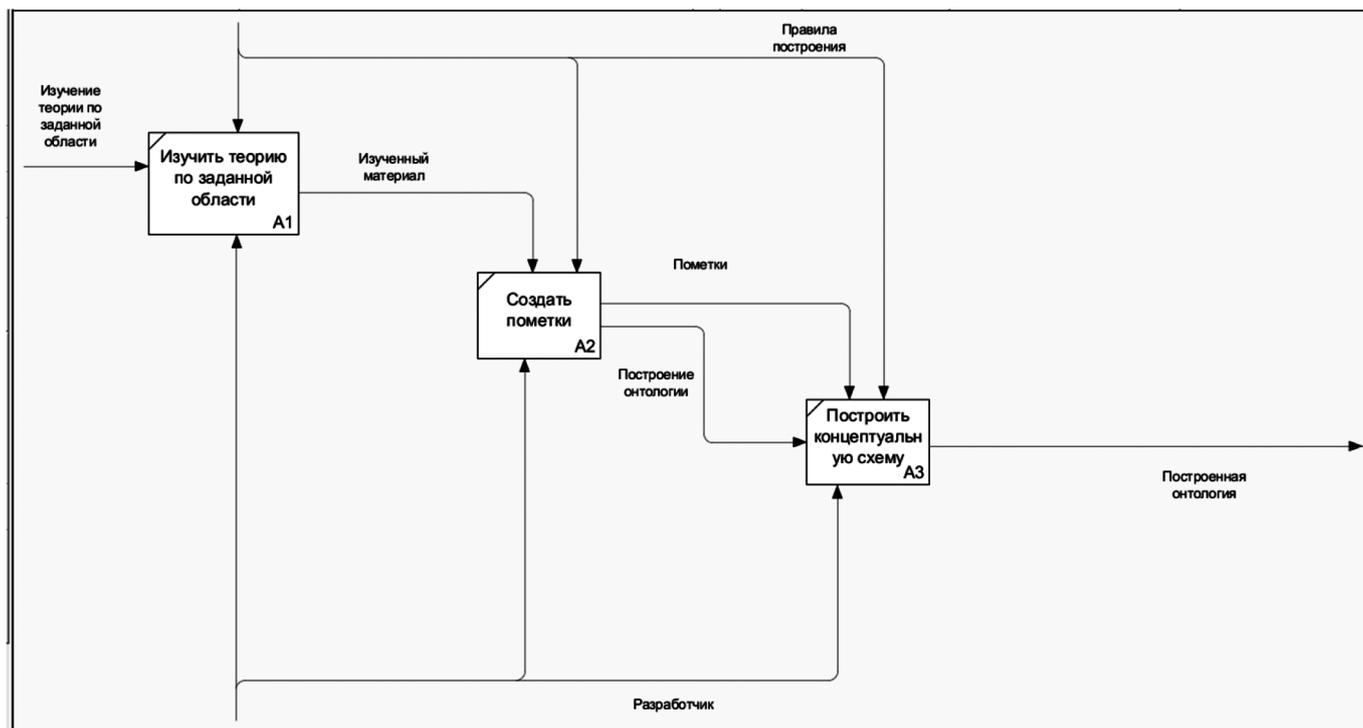


Рис. 2. Основные процессы создания онтологий

- Жанр
- Стоимость
- Раздел
- Количество страниц
- Магазин

Раздел:

- Название раздела

Издатель:

- Название издателя

Магазин:

- Город

### Заключение

В данной статье был рассмотрен принцип построения онтологии для информационных объектов. На конкретном примере мы убедились, что онтология упрощает представление информационных объектов и процессов. Из этого следует, что навыки построения онтологий важны в любой сфере жизнедеятельности человека. Представленная в статье онтология поможет облегчить создание сайтов для книжных магазинов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лапшин. В.А. Онтологии в компьютерных системах.: Научный мир, 2010. — 224
2. Федорова. Г.Н. Информационные системы.: Академия, 2013. — 208
3. Голицына. О.Л. Информационные системы: Учебное пособие / О.Л. Голицына, Н.В. Максимов, И.И. Попов. — М.: Форум, 2016. — 352 с
4. Майоров. А.А. Информационные объекты в информационном поле//Информационные технологии. — 2015. — №9. — с.66–73
5. Брунилин. А.А, Куваев. В.О, Саенко.И.Б. Онтологический подход к организации информационного взаимодействия разнородных автоматизированных систем специального назначения//Телекоммуникации и транспорт. — 2015. — № 2. — с.69–72
6. Ю.А. Загорулько, О.И. Боровикова, И.С. Кононенко, Е.А. Сидорова Подход к построению предметной онтологии для портала знаний по компьютерной лингвистике//Труды международной конференции «Диалог 2006». — с.148–151
7. Захаров В.П., Булдакова Е.В. // Международный форум по информатике. 2001.Т. 26, № 1, С.30–36.
8. Боровикова О.И., Загорулько Ю.А. Организация порталов знаний на основе онтологий. // Труды международного семинара Диалог'2002 «Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии». Протвино, 2002. Т.2, С.76–82.
9. Uschold M., Gruninger M. Ontologies: Principles, Methods, and Applications // Knowledge Engineering Review11 (2), 1996.
10. Gruninger M., Fox M.S. Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies // Proceedings of IJCAI 1995 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, 1995.
11. Fernandez-Lopez M., Gomez-Perez A., Pazos Sierra J. Building a Chemical Ontology Using Methontology and the Ontology

12. Design Environment // IEEE Intelligent Systems, 1999. 14(1), P.37–46.
13. Staab S., Schunurr H-P., Studer R., Sure Y. Knowledge processes and ontologies // IEEE Intelligent Systems, Special Issue on Knowledge Management, 2001. 16(1), P.26–34.
14. Zagorulko Yu., Borovikova O., Bulgakov S., Sidorova E. Ontology-based approach to development of adjustable knowledge internet portal for support of research activity // Bull. of NCC. Ser.: Comput. Sci. 2005. Is. 23, P.45–56.
15. Survey of the State of the Art in Human Language Technology editors Cole R.A., Mariani J., Uszkoriet H., Zaenen A., Zue V.// Stanford University, Stanford, CA, Cambridge University Press, 1996.
16. <http://www.krugosvet.ru/> Энциклопедия «Кругосвет».
17. <http://www.i-u.ru/biblio/dict.aspx/> Словари на сайте Русского Гуманитарного Интернет-Университета.
18. <http://www.philol.msu.ru/rus/> Филологический факультет МГУ.
19. <http://speech.bme.ogi.edu/> CSLU — Research Center for Spoken Language Understanding.
20. <http://www.aboutai.net/> Раздел Natural Language Understanding на сайте AboutAI.net.
21. <http://linguistlist.org/> The LINGUIST List.

---

© Крицкова Елизавета Андреевна; Кеся Мария Сергеевна (kesams2002@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УГРОЗ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

ANALYSIS AND FORECASTING  
OF CYBERSECURITY THREATS

**D. Makarov**  
**A. Tsaregorodtsev**  
**I. Mukhin**  
**S. Volkov**

*Summary.* In the era of widespread digitalization and the development of information technologies, leading to the emergence of new threats to information security (IS), and cybersecurity, software vulnerabilities are becoming an even more significant threat to both organizations and individual users. The article conducts research and analysis of software errors and vulnerabilities in the period from 2020 to 2023, based on data from CWE (Common Weakness Enumeration) and OpenCVE (Open-Source Computer Vision Library) in the period from 2020 to 2023, and provides a forecast of trends in the development of software vulnerabilities. The identification of key trends in software vulnerabilities is considered, their potential impact in the future is assessed, and strategies for effective response to these threats are proposed. The methodology includes the analysis of lists of the 25 most dangerous software security vulnerabilities and the use of predictive analytics to assess risks. Visualized data and analytical conclusions are presented to identify key risk areas, based on which recommendations are proposed to improve the cybersecurity of the enterprise.

*Keywords:* cybersecurity, software vulnerabilities, predictive analytics, information security risk assessment, threat forecasting.

## Введение

В современном мире, где цифровые технологии проникают во все аспекты нашей жизни, безопасность программного обеспечения становится одним из приоритетов. Уязвимости в ПО не только создают риски для безопасности данных и конфиденциальности, но и могут привести к серьезным экономическим и социальным последствиям. С развитием технологий и постоянно меняющимся ландшафтом угроз, важно не только реагировать на текущие вызовы, но и прогнозировать уязвимости ПО. Прогнозирование потенциальных угроз в области кибербезопасности проводилось на основе анализа ошибок и тенденций уязвимостей ПО с 2020 по 2023 годы. Упор

**Макаров Дмитрий Александрович**  
Аспирант, ФГБОУ ВО Московский государственный  
лингвистический университет  
MakarovPostOffice@yandex.ru

**Царегородцев Анатолий Валерьевич**  
доктор технических наук, профессор, директор, ФГАОУ  
ВО Российский университет дружбы народов г. Москва  
tsaregorodtsev\_av@pfur.ru

**Мухин Илья Николаевич**  
Специалист, старший преподаватель, ФГАОУ ВО  
Российский университет дружбы народов г. Москва  
mukhin\_in@pfur.ru

**Волков Сергей Дмитриевич**  
Заместитель директора, ФГАОУ ВО Российский  
университет дружбы народов г. Москва  
volkov\_sd@pfur.ru

*Аннотация.* В эпоху повсеместной цифровизации и развития информационных технологий, приводящих к появлению новых угроз информационной безопасности (ИБ), и, в частности, кибербезопасности, уязвимости программного обеспечения (ПО) становятся еще более значительной угрозой как для организаций, так и для индивидуальных пользователей. В статье проводится исследование и анализ ошибок и уязвимостей ПО в период с 2020 по 2023 год, на основе данных CWE (Common Weakness Enumeration) и OpenCVE (Open Source Computer Vision Library) в период с 2020 по 2023 годы, и даётся прогноз тенденций развития уязвимостей ПО. Рассматривается идентификация ключевых тенденций уязвимостей ПО, даётся оценка их потенциального влияния в будущем, и предлагаются стратегии для эффективного реагирования на эти угрозы. Методология включает анализ списков 25 самых опасных программных уязвимостей безопасности и применение предиктивной аналитики для оценки рисков. Представлены визуализированные данные и аналитические заключения, позволяющие выявить ключевые области рисков, на основе которых предлагаются рекомендации для повышения кибербезопасности предприятия.

*Ключевые слова:* кибербезопасность, уязвимости ПО, предиктивная аналитика, оценка рисков ИБ, прогнозирование угроз.

делался на данные, предоставленные CWE, а в качестве дополнительных ресурсов использовалась платформа OpenCVE для более углубленного изучения и прогнозирования уязвимостей ПО. Для оценки рисков, которые эти уязвимости могут представлять в будущем, были применены методы предиктивной аналитики. Детальный анализ каждой уязвимости, включая оценки сообщества экспертов, предоставленные через OpenCVE, является ключевым аспектом для эффективного прогнозирования и предотвращения будущих угроз. Это позволило оценить их потенциальное влияние на будущее развитие уязвимостей ПО и разработать эффективные стратегии реагирования, адаптированные к постоянно меняющемуся цифровому ландшафту.

**Динамика развития уязвимостей ПО**

Современный ландшафт кибербезопасности характеризуется не только количеством угроз, но и их сложностью и воздействием. Был проведён анализ изменения рангов и оценок CWE с углублением в конкретные уязвимости, их описания, оценки CVSS (Common Vulnerability Scoring System), уровни угроз и другие связанные данные за период с 2020 по 2023 годы. Анализ основан на интеграции рангов и оценок CWE с детальным изучением связанных с ними CVE. Для каждой уязвимости были рассмотрены описания, оценки CVSS, уровни угрозы, типы уязвимостей, результаты проверок уровня угрозы, системные компоненты, механизмы эксплуатации и функциональность, что позволило создать многомерный портрет изменений в уязвимостях.

С 2020 по 2023 год происходили значимые изменения в рейтингах CWE, отражающие адаптацию сферы информационной безопасности к новым угрозам. Расширение векторов атак из-за проникновения новейших технологий и сетевых функций в повседневную деятельность приводит к трансформации и появлению новых угроз. Основываясь на анализе динамики CWE, видна прямая связь этих изменений с распространёнными уязвимостями в ключевых системах и сервисах, таких как Jenkins Pipeline, XWiki Platform, Arduino Create Agent, Node.js, IBM Cognos Dashboards и многих других, которые являются

ключевыми в разработке ПО, управлении проектами и интернет-вещей (рисунок 1). Это подчеркивает важность непрерывной оценки и обеспечения мер безопасности, чтобы минимизировать риски в корпоративных и облачных средах.

График демонстрирует динамику рангов для наиболее значимых CWE. Наблюдается рост приоритетности уязвимостей, что отражает сдвиги в фокусе кибербезопасности.

**Качественный анализ изменения рангов CWE**

CWE-22: уязвимости, связанные с ненадлежащей проверкой путей к файлам, продолжают представлять серьёзную угрозу для таких систем, как Jenkins Pipeline, XWiki Platform, Arduino Create Agent и Node.js. Эти системы играют ключевую роль в процессах разработки программного обеспечения, управления проектами и интернет-вещей, что делает их приоритетными целями для атак и подчёркивает необходимость их защиты.

CWE-287: уязвимости, связанные с недостаточной аутентификацией, выявленные в таких продуктах как IBM Cognos Dashboards, Red Hat Ceph Storage, SALESmanago и системах управления идентификацией от Pingidentity и Authentik, подтверждают их распространённость в корпоративных и облачных средах. На фоне возрас-

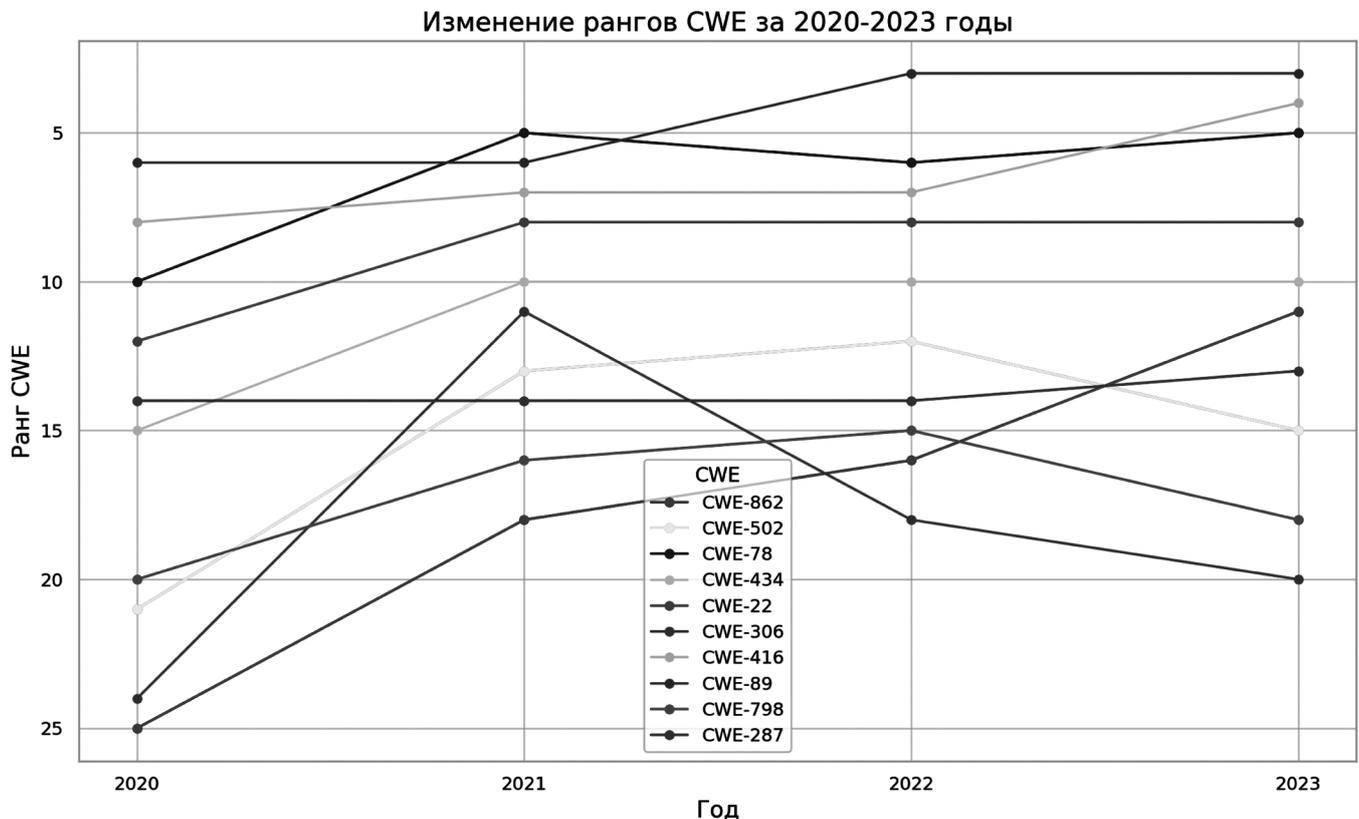


Рис. 1. Изменение рангов CWE за 2020–2023 годы

тающей зависимости от удалённого доступа и облачных технологий, проблемы с аутентификацией могут иметь серьезные последствия для безопасности данных и доступности услуг. Внимание к этому аспекту безопасности является критически важным, особенно в свете недавних инцидентов с Mitsubishi Electric, MISP и SICK, где атакующие могли обойти аутентификацию и получить доступ к чувствительным данным или системам управления.

CWE-306: отсутствие аутентификации для критически важных функций в продуктах, таких как Splunk Enterprise, SAUTER Controls Nova, PingFederate with PingID Radius PCV и IBM Sterling Partner Engagement Manager, отмечает существующие риски безопасности в корпоративных и облачных средах. Проблемы с аутентификацией в этих системах поднимают вопросы о защите критических операций, данных и инфраструктуры, поскольку отсутствие должных проверок может позволить неавторизованным лицам получить доступ к функционалу и чувствительной информации.

CWE-416: уязвимости типа Use After Free (Использование после освобождения), обнаруженные в таких продуктах, как Google Chrome, Linux Kernel, Android и macOS, подчеркивают важность защиты от сложных атак, способных привести к выполнению произвольного кода. Эти уязвимости могут быть использованы для повышения привилегий или удаленного выполнения кода, что делает их критическими угрозами для безопасности. Своевременное обновление и строгое управление памятью при разработке программного обеспечения должны быть обеспечены на высоком уровне.

CWE-434: уязвимость, обозначающая проблему «небезопасной загрузки файлов», является значительным и повторяющимся риском в разнообразных веб-приложениях и системах управления контентом (CMS). Как показывают данные по CVE, продукты такие как Pandora FMS и плагин Fancy Product Designer для WordPress столкнулись с серьезными уязвимостями, которые позволяют атакующим загружать произвольные файлы на сервер, что может привести к удаленному выполнению кода. Эти инциденты подчеркивают важность тщательного контроля за процессами загрузки файлов пользователями, включая проверку типов файлов и ограничения на доступ к загружаемым данным.

CWE-502: десериализация ненадежных данных выявляет значительные угрозы в широком спектре программных продуктов и систем, включая, но не ограничиваясь, такими как PredictAppak, PredictApp, Cacti, phpPgAdmin, и Splunk. Этот тип уязвимости также обнаружен в критических компонентах систем управления контентом и фреймворках для разработки, включая популярные инструменты, такие как Apache Struts и Jenkins. Риск свя-

зан с тем, что входные данные, контролируемые пользователем, могут быть десериализованы без должной проверки и очистки, что потенциально приводит к выполнению произвольного кода, злоупотреблению функциями приложений и в итоге к компрометации систем. Это подчеркивает необходимость строгих механизмов безопасности при работе с сериализованными данными и актуализирует необходимость своевременного обновления программного обеспечения для защиты от известных уязвимостей.

CWE-798: использование жестко закодированных учетных данных в продуктах таких компаний, как TIBCO Software, Siemens SICAM PAS и Cisco Emergency Responder, подчеркивает проблемы управления секретами и аутентификацией, которые остаются критически важными для программного обеспечения и промышленных контрольных систем. Эти уязвимости могут позволить злоумышленникам получить несанкционированный доступ и возможность выполнения произвольного кода, что усиливает необходимость своевременного обнаружения и устранения подобных уязвимостей в целях обеспечения безопасности.

CWE-862: Отсутствие проверки разрешений в различных компонентах, таких как системы управления доступом Boschrexroth HMI Web Panel, платформы Android от Google, плагины для Jenkins и сервисы от Palantir, подчеркивает риски безопасности, связанные с несанкционированным доступом и возможными привилегированными действиями на устройствах и системах. Это может привести к локальной и сетевой эскалации привилегий, утечке информации и другим видам атак, что делает проверку разрешений важной составляющей защиты информации.

CWE-89: Уязвимости SQL-инъекций, обнаруженные в ряде плагинов WordPress и других веб-приложений, таких как Demonisblack demon image annotation, Nucleus\_genius Quasar form free, и Daniel Söderström / Sidney van de Stouwe Subscribe to Category, а также в системах, включая Avirtum ImageLinks и IT Path Solutions Contact Form to Any API, подчеркивают важность правильной санитизации пользовательского ввода и защиты от внедрения стороннего кода в SQL-запросы. Это критическое условие безопасности для веб-приложений, поскольку оно может привести к несанкционированному доступу к базам данных и потенциальной утечке конфиденциальной информации.

#### Почему уязвимости ПО остаются проблемой

Уязвимости, отнесенные к категориям CWE, продолжают быть значимыми и становятся всё более распространёнными по причине различных факторов.

## CWE-22 (Path Traversal):

- Рост сложности систем увеличивает риск внедрения уязвимостей, связанных с обработкой путей файлов.
- Расширение векторов атак происходит из-за внедрения новых технологий.
- Неуловимость ошибок в коде, особенно в больших и сложных кодовых базах.

## CWE-287 (Improper Authentication):

- Увеличение удаленного доступа и облачных технологий увеличивает зависимость от надежной аутентификации.
- Сложность разработки и поддержки аутентификационных механизмов, особенно при интеграции с разными системами.

## CWE-306 (Missing Authentication for Critical Function):

- Увеличение числа критических систем, подключенных к Интернету.
- Сложность обеспечения удобства использования при сохранении безопасности.

## CWE-416 (Use After Free):

- Сложность управления памятью в программировании на низком уровне.
- Продолжающееся использование устаревших технологий.

## CWE-434 (Unrestricted Upload of File with Dangerous Type):

- Рост числа и функциональности веб-приложений.
- Техническая сложность надежного определения и блокирования потенциально опасного контента.

## CWE-502 (Deserialization of Untrusted Data):

- Распространенность сериализации данных для передачи между системами.
- Сложность безопасной обработки сериализованных данных.

## CWE-798 (Use of Hard-coded Credentials):

- Простота разработки и отладки с использованием жестко закодированных учетных данных.
- Недостаток осведомленности о рисках безопасности.

## CWE-862 (Missing Authorization):

- Сложность управления доступом в сложных системах.
- Расширение функциональности систем управления доступом.

## CWE-89 (SQL Injection):

- Распространенность SQL-баз данных в веб-приложениях.

- Проблемы с эффективной защитой от SQL-инъекций.

## Изменение рангов CWE

Анализ рангов общих слабых мест в ПО (по CWE) за период с 2020 по 2023 годы выявил важные тенденции и изменения в ландшафте уязвимостей, которые затрагивают различные отрасли и продукты. Ниже приведены ключевые результаты.

*Веб-приложения и Платформы:* такие уязвимости как CWE-22 и CWE-89, часто встречаются в веб-приложениях и платформах. Они продолжают быть высокоприоритетными из-за их распространенности и потенциального влияния на конфиденциальность, целостность и доступность данных.

*Корпоративные системы и облачные решения:* CWE, связанные с аутентификацией и авторизацией, такие как CWE-287 и CWE-306, были идентифицированы в корпоративных решениях. Это подчеркивает уязвимость облачных и корпоративных сред в условиях растущей цифровизации бизнес-процессов.

*Браузеры и популярное ПО:* уязвимость CWE-416 в Google Chrome и других распространенных программах показывает, что широко используемое ПО остается ключевой целью для злоумышленников, что требует постоянного внимания и обновлений безопасности.

*Системы управления контентом (CMS):* такие CWE, как CWE-434, обнаруженные в Fancy Product Designer WordPress и Pandora FMS, отражают риски, связанные с расширением функционала CMS через плагины и добавление пользовательских возможностей.

*Разработка ПО и фреймворки:* уязвимость CWE-502 в Apache Struts и Jenkins указывает на важность защиты приложений на этапе разработки, особенно в отношении безопасной обработки входных данных.

*Промышленные и инфраструктурные системы:* CWE-798 в продуктах TIBCO Software и Siemens демонстрирует необходимость улучшения практик управления учетными данными в критически важных системах.

Эти результаты подчеркивают необходимость сфокусированного внимания на уязвимостях, которые могут иметь значительные последствия для широкого спектра отраслей и приложений. В целом, они отражают важность обеспечения безопасности в эпоху цифровой трансформации и необходимость адаптации к постоянно меняющимся угрозам в сфере информационных технологий.

### Прогнозирование тенденций в области уязвимостей ПО

Прогнозирование тенденций в области уязвимостей программного обеспечения может быть сложной задачей из-за множества переменных, включая изменения в технологических стеках, методах разработки и глобальных угрозах безопасности. Однако, анализируя текущие данные и тенденции в индустрии безопасности, можно предположить, что следующие CWE могут сохранить своё лидерство:

- CWE-79: учитывая растущую сложность веб-приложений, XSS остается важной угрозой.
- CWE-20 и CWE-80: как основа многих других видов атак, неправильная проверка входных данных, вероятно, останется проблемой.
- CWE-200 и CWE-311 (Information Exposure): с ростом данных и требований к конфиденциальности, уязвимости, приводящие к утечкам данных, могут стать ещё более значимыми.

CWE, которые могут выйти на первый план:

- CWE-400 и CWE-776: DoS-атаки становятся более изощрёнными.
- CWE-303 и CWE-287: сложность аутентификации может привести к новым уязвимостям.
- CWE-668 и CWE-319: с ростом использования микросервисов и облачных технологий, нарушение доверительных границ может стать более актуальным.

Новые или увеличивающиеся CWE.

Облачные технологии и контейнеризация:

- CWE-89, CWE-12 и CWE-122: неправильная проверка ввода может привести к серьезным уязвимостям в облачных приложениях, таким как SQL инъекции или атаки переполнения буфера.
- CWE-331 и CWE-337: неспособность генерировать и проверять криптографические значения в облачных сервисах может подвергнуть риск целостности и конфиденциальности данных.
- CWE-276: неправильно заданные разрешения по умолчанию могут дать злоумышленникам неожиданный доступ к облачным ресурсам или данным.
- CWE-295: недостаточная проверка сертификатов может привести к принятию поддельных сертификатов, что угрожает безопасности шифрованных соединений.
- CWE-749: использование опасных функций может подвергать риск безопасности контейнеризированных приложений, которые полагаются на строгую изоляцию.
- CWE-400: утечка ресурсов в облачных средах может привести к перегрузке системы и снижению производительности.

- CWE-710: неправильная реализация контроля потока может нарушить предсказуемость и надежность облачных операций.
- CWE-284 и CWE-94: опасный вызов функции без проверки в облачных приложениях может привести к выполнению произвольного кода.

Искусственный интеллект и машинное обучение:

- CWE-457: использование неинициализированной памяти может вызвать непредсказуемое поведение моделей и алгоритмов AI/ML.
- CWE-120 и CWE-122: переполнение буфера может повлиять на целостность данных, что является критическим для алгоритмов обработки данных в AI/ML.
- CWE-276 и CWE-284: неправильное назначение разрешений может позволить несанкционированный доступ к данным и моделям AI/ML.
- CWE-704: некорректное преобразование типов данных может привести к ошибочным вычислениям в алгоритмах машинного обучения.
- CWE-298: несоответствие в разделении ответственности может привести к сложностям в управлении зависимостями и модулями AI/ML.
- CWE-391: ошибки обработки ошибок могут вызвать непредвиденные сбои в системах AI/ML, что может привести к неправильным результатам.

Влияние глобальных событий.

Геополитические напряженности и кибервойны могут привести к росту уязвимостей, связанных с кибершпионажем и саботажем:

- CWE-284: неправильное управление доступом обеспечивает возможность несанкционированного удалённого выполнения кода, что может использоваться для кибершпионажа.
- CWE-77: уязвимости внедрения команд позволяют злоумышленникам выполнять команды на целевой системе, что может способствовать саботажу.
- CWE-598: утечка информации через URL может выдать конфиденциальную информацию, что полезно для разведывательной деятельности.
- CWE-918: Server-Side Request Forgery (SSRF) позволяет атакующему взаимодействовать с внутренней инфраструктурой системы, что может привести к удалённому саботажу.
- CWE-22: небезопасный прямой доступ к файлам может облегчить несанкционированный доступ к файлам системы.
- CWE-937: использование компонентов с известными уязвимостями — создаёт риски кибершпионажа и саботажа, особенно если злоумышленники эксплуатируют неисправленные уязвимости.
- CWE-94: уязвимости удалённого включения файлов могут привести к удалённому выполнению

произвольного кода, что является существенным риском при киберконфликтах.

Важно отметить, что эффективность средств защиты и осведомлённость разработчиков могут сыграть решающую роль в изменении тенденций. Компании и сообщества, активно внедряющие лучшие практики безопасности и своевременно обновляющие программное обеспечение, могут повлиять на снижение частоты и серьёзности определённых CWE.

### Визуализация анализа данных

Визуализация данных CWE позволяет наглядно представить распределение и частоту различных типов уязвимостей. Переходя от теоретического описания к практическому анализу, можно визуализировать вышеописанную классификацию уязвимостей, чтобы более наглядно представить распределение и частоту различных типов уязвимостей (рисунок 2, рисунок 3). Эта визуализация подчеркивает наиболее критические аспекты безопасности, которые были выявлены в данных CWE за последние годы.

На диаграммах представлено распределение уязвимостей, в т. ч. наиболее часто эксплуатируемых, классифицированных по ключевым параметрам: типу уязвимости, уровню угрозы, компоненту системы, механизму эксплойта и функциональным последствиям.

Представленная визуализация и анализ подчеркивают необходимость постоянного мониторинга уязвимостей ПО и принятия активных мер по их устранению и предотвращению. Также они указывают на области, требующие особого внимания при проектировании и тестировании программного обеспечения.

На основании проведенного анализа уязвимостей ПО по CWE за период с 2020 по 2023 годы, можно выделить следующие ключевые рекомендации:

1. *Придерживаться лучших практик безопасности:* важно внедрять и соблюдать лучшие практики безопасности на всех этапах жизненного цикла разработки ПО. Это включает в себя как раннее обнаружение уязвимостей, так и их устранение до выпуска продукта.

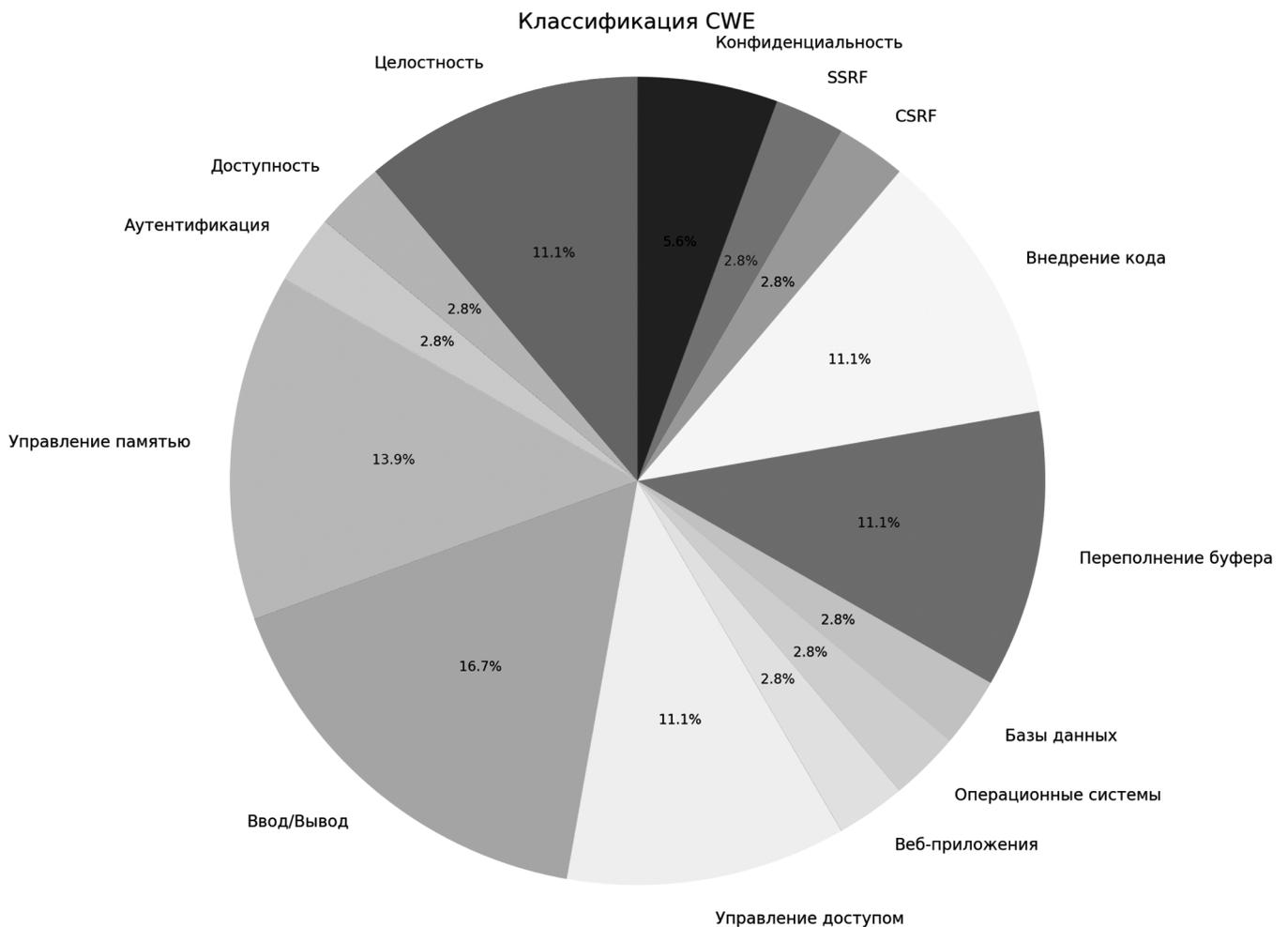


Рис. 2. Распределение уязвимостей ПО по категориям

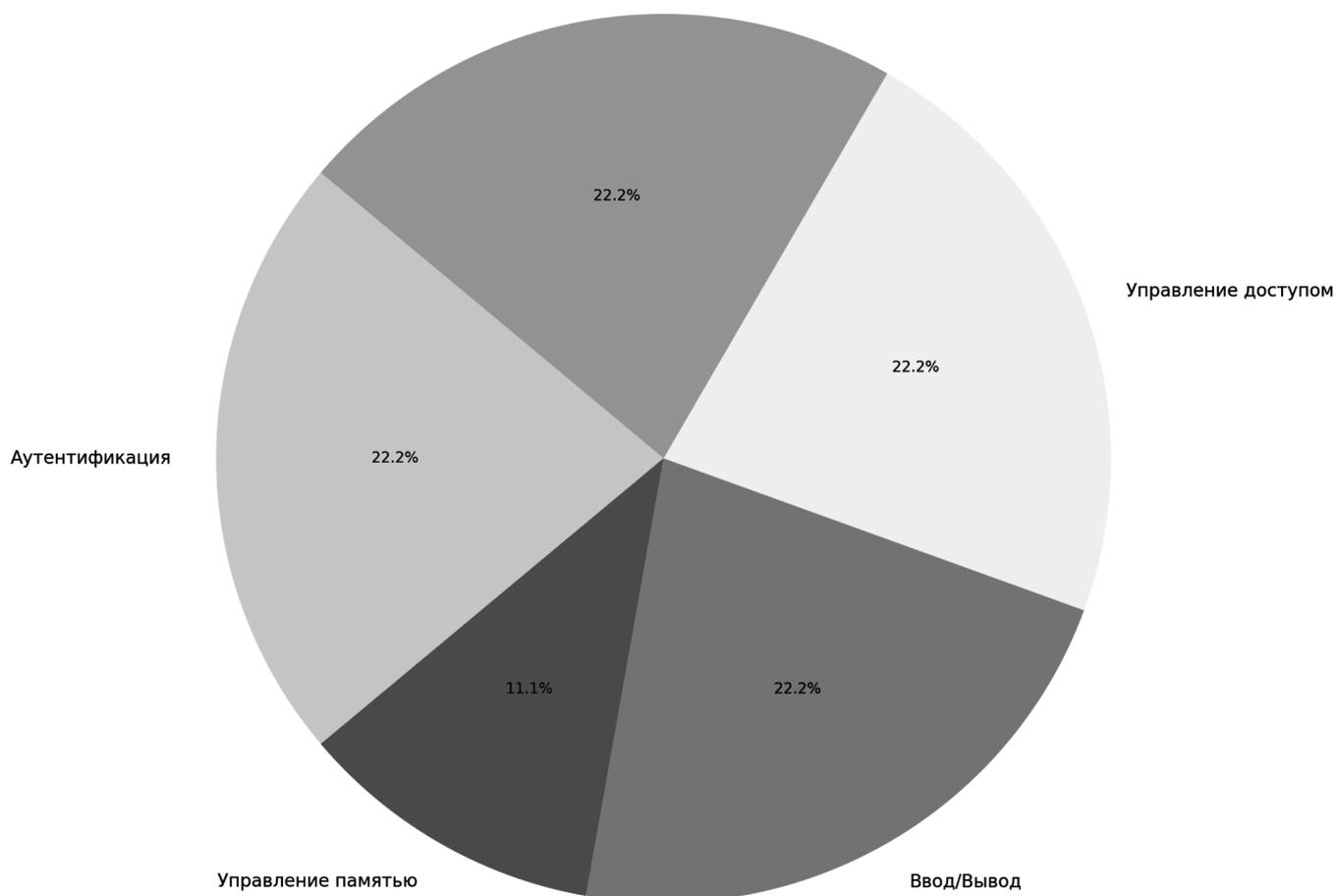
Классификация наиболее популярных CWE 2020-2023 г.  
Веб-приложения

Рис. 3. Наиболее часто эксплуатируемые уязвимости CWE за 2020–2023 годы

2. *Обучать и повышать квалификацию разработчиков:* постоянное обучение и повышение квалификации разработчиков в области безопасного кодирования является ключевым для предотвращения внедрения новых уязвимостей в программное обеспечение.
3. *Инвестировать в автоматизированное тестирование и анализ кода:* рекомендуется инвестировать в инструменты и технологии для автоматизированного тестирования и анализа кода, что позволит обнаруживать и устранять уязвимости, тем самым повышать уровень безопасности разработанных систем.
4. *Разрабатывать и внедрять усовершенствованные системы аутентификации и авторизации:* учитывая значительное влияние уязвимостей, связанных с аутентификацией и управлением доступом, особое внимание следует уделить разработке и внедрению усовершенствованных систем аутентификации и авторизации.

Эти рекомендации направлены на усиление общей безопасности программного обеспечения и снижение

рисков, связанных с эксплуатацией уязвимостей. Они также способствуют повышению уровня осведомленности и компетенций в области кибербезопасности среди профессионалов, занятых в разработке ПО.

#### Заключение

Проведённое исследование показало, что сфера кибербезопасности постоянно развивается, и организациям необходимо быть готовыми к постоянному обновлению знаний и технологий для защиты своих систем. По мере развития технологий следует ожидать появления новых типов уязвимостей. Это требует от организаций гибкости в адаптации к новым угрозам и развитии методов защиты. Особое внимание следует уделить развитию машинного обучения, технологиям искусственного интеллекта и облачных технологий. Важность непрерывного обучения, адаптации и применения комплексного подхода к безопасности ПО не может быть переоценена. В свете выявленных тенденций организации должны сосредоточить свои усилия на разработке эффективных стратегий кибербезопасности, которые способны адаптироваться к постоянно меняющемуся ландшафту угроз.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Common Weakness Enumeration [Электронный ресурс]. — URL: <https://cwe.mitre.org/index.html> (дата обращения: 14.03.2024).
2. OpenCVE [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.opencve.io> (дата обращения: 14.03.2024).
3. 2020 CWE Top 25 Most Dangerous Software Weaknesses [Электронный ресурс]. — URL: [https://cwe.mitre.org/top25/archive/2020/2020\\_cwe\\_top25.html](https://cwe.mitre.org/top25/archive/2020/2020_cwe_top25.html) (дата обращения: 14.03.2024).
4. 2021 CWE Top 25 Most Dangerous Software Weaknesses [Электронный ресурс]. — URL: [https://cwe.mitre.org/top25/archive/2021/2021\\_cwe\\_top25.html](https://cwe.mitre.org/top25/archive/2021/2021_cwe_top25.html) (дата обращения: 14.03.2024).
5. 2022 CWE Top 25 Most Dangerous Software Weaknesses [Электронный ресурс]. — URL: [https://cwe.mitre.org/top25/archive/2022/2022\\_cwe\\_top25.html](https://cwe.mitre.org/top25/archive/2022/2022_cwe_top25.html) (дата обращения: 14.03.2024).
6. 2023 CWE Top 25 Most Dangerous Software Weaknesses [Электронный ресурс]. — URL: [https://cwe.mitre.org/top25/archive/2023/2023\\_top25\\_list.html](https://cwe.mitre.org/top25/archive/2023/2023_top25_list.html) (дата обращения: 14.03.2024).

---

© Макаров Дмитрий Александрович (MakarovPostOffice@yandex.ru); Царегородцев Анатолий Валерьевич (tsaregorodtsev\_av@pfur.ru);  
Мухин Илья Николаевич (mukhin\_in@pfur.ru); Волков Сергей Дмитриевич (volkov\_sd@pfur.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

## MODERN RECOMMENDER SYSTEMS' REVIEW

K. Nikolaev

*Summary.* Nowadays users must sort through large amount of diverse information to find the most relevant one. Recommender systems improve the efficiency of this process; they deal with huge number of items and offer content portion that users would be interested in. The paper describes one of the most popular recommender systems used for production purposes and of great practical importance in industry. This work aims to review the existing research and analyze models' features presented there. The contributions of the paper are the following: analysis of mentioned recommender systems, describing their application areas, strengths, and weaknesses. The conclusion focuses on the practical value of explorations and opportunities for other industries.

*Keywords:* recommender systems, recurrent neural networks, reinforcement learning, cold start, machine learning.

Николаев Константин Сергеевич

Ассистент, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»  
knpreacher@gmail.com

*Аннотация.* В современном мире человек взаимодействует с большим количеством разнообразной информации с целью поиска наиболее актуальной для него. Для улучшения эффективности этого взаимодействия используются различные рекомендательные системы, обрабатывающие многомиллионные массивы элементов и предлагающие пользователю наиболее релевантные. В данной статье представлены одни из самых популярных рекомендательных систем, которые развернуты в производственных масштабах и показали свою практическую значимость в реальных условиях. Целью работы является обзор ряда существующих исследований и анализ функционала представленных в них моделей. В статье решаются следующие задачи: обзор ряда рекомендательных систем, описание областей их применения, выделение основных преимуществ и недостатков каждой модели. В результате сделан вывод об актуальности представленных рекомендательных систем и их пригодности в контексте использования в других отраслях.

*Ключевые слова:* рекомендательная система, рекуррентные нейронные сети, обучение с подкреплением, холодный старт, машинное обучение.

## Введение

В настоящее время повсеместно используются рекомендательные системы. Они применяются в различных предметных областях и зачастую нацелены на улучшение взаимодействия пользователя с платформой, будь то интернет-магазин, веб-ресурс для просмотра видео или музыкальный сервис. Рекомендательные системы решают задачи обработки большого массива разнообразных данных для того, чтобы определить предпочтения пользователя и своевременно предлагать ему интересующий его контент, адаптируясь к изменениям в его поведении. Учитывая вышеизложенное, основными критериями при разработке таких систем является их быстродействие, степень персонализации выдаваемых рекомендаций и скорость перестройки под меняющиеся предпочтения, что в итоге напрямую влияет на удовлетворенность пользователя.

В рамках данной работы проанализированы две наиболее известные рекомендательные системы: разработка компании Google [1], основанная на так называемом REINFORCE [8], и разработка компании Amazon Web Services [3] — иерархическая рекуррентная нейронная сеть, использующая метаданные. Для каждой из них рассмотрена их практическая значимость, подходы к проектированию, методы устранения потенциальных проблем и способы повышения их эффективности. В заключении оценивается применимость данных разработок в других

областях деятельности, в частности, в сфере лазерных технологий.

## Существующие подходы к проектированию рекомендательных систем

## 1. Основанная на REINFORCE модель

## 1.1. Описание применения

В исследовании рассматриваются классические модели обучения с подкреплением. В результате их анализа было выявлено следующее:

- существующие алгоритмы непригодны для постоянно разрастающегося пространства действий и состояний, обусловленного изменением предпочтений пользователей;
- подходы самовоспроизведения и моделирования [5] для устранения ограниченности данных неприменимы для динамической рекомендательной системы;
- большинство алгоритмов рекомендуют только один элемент, в то время как реальные системы одновременно предлагают сразу несколько [7].

В предложенном исследовании все эти особенности учтены при разработке, в результате разработана «Тор-К» корректировка «вне стратегии». Эта модель эффективно используется на платформе YouTube для предложения пользователям актуальных для них видео.

1.2. Архитектура модели

1.2.1. Моделирование

Задача состоит в том, чтобы каждый последующий рекомендованный элемент увеличивал показатель удовлетворенности пользователя. Она преобразуется в марковский процесс принятия решений  $(S, A, P, R, \rho_0, \gamma)$ , где

- $S$ : непрерывное пространство состояний;
- $A$ : дискретное пространство действий;
- $P : S \times A \times S \rightarrow \mathbb{R}$ : функция переходов;
- $R : S \times A \rightarrow \mathbb{R}$ : функция награды;
- $\rho_0$ : распределение начального состояния;
- $\gamma$ : коэффициент дисконтирования.

В качестве архитектуры рекуррентной нейронной сети была выбрана Chaos Free RNN [2] за счет ее стабильности и вычислительной эффективности. Сама стратегия моделируется следующим образом:

$$\pi_\theta(a|s) = \frac{\exp(s^T v_a / T)}{\sum_{a' \in A} \exp(s^T v_{a'} / T)} \quad (1)$$

где  $v_a \in \mathbb{R}^n$  дополнительное вложение для каждого действия  $a$  в пространстве действий  $A$ , а  $T$  — коэффициент, обычно 1.

1.2.2. Методы уменьшения погрешности

Для снижения дисперсии градиента ожидаемой суммарной награды применяется коэффициент дисконтирования  $\gamma$ . В качестве дополнительных методов ее уменьшения были рассмотрены следующие:

- ограничение веса;
- нормализованная выборка важности;
- оптимизация стратегии доверенного региона (TRPO) [4].

При проведении экспериментов по результатам регрессионных тестов наиболее эффективным оказалось ограничение веса, поэтому в дальнейшем именно этот метод был использован в итоговой модели.

1.2.3. Адаптация REINFORCE для выбора  $K$  элементов

Чтобы адаптировать REINFORCE к предложенной модели, использовано скорректированное значение градиента, тогда коэффициент поправки на отклонение от стратегии равен:

$$\sum_{s_t \sim d_t^{\pi(\cdot|s_t)}, a_t \sim \beta(\cdot|s_t)} \left[ \frac{\pi_\theta(a_t|s_t)}{\beta(a_t|s_t)} \frac{\partial \alpha(a_t|s_t)}{\partial \pi(a_t|s_t)} R_t(s_t, a_t) \nabla_{\theta} \log \pi_\theta(a_t|s_t) \right] \quad (2)$$

Особое значение здесь имеет дополнительный множитель к основному поправочному коэффициенту вне стратегии  $\frac{\pi(a|s)}{\beta(a|s)}$ :

$$\lambda_K(s_t, a_t) = \frac{\partial \alpha(a_t|s_t)}{\partial \pi(a_t|s_t)} = K(1 - \pi_\theta(a_t|s_t))^{K-1} \quad (3)$$

Пока искомым элемент не выбран, стратегия с каждым шагом увеличивает его вероятность. Как только она достигает заданного порога, он попадает в набор для рекомендации и его вероятность больше не увеличивается, что позволяет отбирать другие релевантные элементы.

1.3. Преимущества

Представленный в исследовании алгоритм характеризуется следующей особенностью: он учитывает как выбранные пользователем рекомендации, так и те, что были им проигнорированы. Также он ориентирован на одновременную выдачу нескольких подходящих элементов так, чтобы получаемая за них суммарная награда была максимальной. Совокупность этих преимуществ позволяет говорить об эффективности разработки, что подтверждается повышением удовлетворенности пользователей.

1.4. Недостатки

Исходя из представленного описания разработки, можно сделать вывод о том, что она обладает рядом недостатков. Одним из них является ограниченность данных: если пользователи мало взаимодействовали с объектами, нейронная сеть плохо обучится, что негативно скажется на качестве рекомендаций. Кроме того, из-за сложности в оценке вероятностей на основе исторических данных у выдаваемых рекомендательной системой предсказаний может быть низкая точность. Еще одним недостатком можно считать необходимость тщательной настройки гиперпараметров, что требует определенного времени и экспертных навыков. Также алгоритмы подобного рода требуют значительных вычислительных ресурсов, что может повлиять на возможность их масштабирования и эффективность в реальном времени. Следовательно, при внедрении данной технологии стоит учитывать ее возможные проблемы и продумать пути их решения.

Вывод

Рекомендательная система, основанная на алгоритме REINFORCE, хорошо показала себя при производственных испытаниях в реальных условиях (рекомендация видео на YouTube). Несмотря на ряд недостатков, она повысила удовлетворенность пользователей и увеличила время и количество просмотра видео. Таким образом, она оказалась особенно эффективной для рекомендаций видеоконтента.

2. Динамическая модель контекстных рекомендаций

2.1. Описание применения

Следующее исследование посвящено разработке рекомендательной системы (так называемой ИРНС-мета),

способной приспосабливаться к изменяющимся предпочтениям пользователя и обучаться на истории его взаимодействия с элементами; она решает проблему холодного старта, использует исторические данные для прогнозирования и масштабируется для многомиллионных массивов элементов.

Эффективность разработки демонстрируется в ходе реальных и искусственных экспериментов, а отдельные компоненты развернуты в производственных масштабах и служат в качестве базового рекомендательного движка для тысяч веб-сайтов. В исследовании упоминаются следующие области применения данной технологии: рекомендация фильмов по истории просмотра (Netflix) и по метаданным при холодном старте (MovieLens), подборка тематических сообществ по интересующим пользователя темам и его активности (Reddit), определение наиболее релевантных и актуальных новостей с учетом их быстрого устаревания (Outbrain) и прочие сферы, где требуется высокая степень персонализации в постоянно изменяющихся условиях (Yoochoose, Taobao).

## 2.2. Архитектура модели

Персонализированные рекомендации основаны на истории взаимодействия, где каждая строка — это запись вида {(время, идентификатор пользователя, идентификатор элемента, идентификатор действия)} =  $\{(t_k, u_k, a_k, v_k) : k = 1, \dots, n\}$ .

Один из компонентов ИРНС-мета — последовательные модели. Действия пользователей сгруппированы в упорядоченные наборы  $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}]$  так, что  $x_{ik} = (a_{ik}, t_{ik}, v_{ik})$  и  $t_{ik} > t_{ij} | k > j$ . Пусть  $A_{k+1}$  — случайная переменная, представляющая следующий элемент  $a_{k+1}$ ,  $x_{1:k} = (x_1, \dots, x_k)$  — история взаимодействия, а  $\phi = (\phi_1, \dots, \phi_m)^T$  — векторная функция оценки для каждого из  $m$  элементов, тогда:

$$a_{k+1} \sim p(A_{k+1}|x_{1:k}) = \text{softmax}(\phi(h(x_1, \dots, x_k))), \quad (4)$$

где  $h_k = h(x_{1:k})$  — полученное в результате обучения представление соответствующей истории взаимодействия. (4) описывает предсказание одного элемента с учетом всей истории пользователя, на практике же для всех событий одновременно применяется обратное распространение во времени.

В иерархических рекуррентных нейронных сетях используются так называемые сеансы, в пределах которых интересы пользователя считаются постоянными. Нижние слои сети отслеживают динамику в пределах одного сеанса, в то время как верхние обучаются на межсеансовых данных. При объединении слоев возможна та-

кая ситуация, когда верхние слои не могут обновиться, так используются более чем одним пользователем. Для устранения этой проблемы собираемые от пользователя отклики объединяются с контекстной информацией (язык запроса, цена товара и пр.).

Также в ИРНС-мета используются свойства элементов. Пусть  $f_j$  — вектор свойств  $j$ -го элемента,  $w_j = w_j(f_j)$  — его отображение,  $b = b_j(f_j)$  — смещение. Тогда дешифратор можно представить как модель взаимодействия второго порядка между  $w_j$  и  $h_k$  и объединить оба представления следующим образом:

$$\tilde{\phi}_j(h_k) = (1 - \lambda)(w_j^T h_k + b_j) + \lambda(w(f_j)^T h_k + b(f_j)), \quad (5)$$

где  $w(\cdot), b(\cdot)$  — обучаемые функции, в которые встраиваются свойства элементов, а  $0 \leq \lambda \leq 1$  — коэффициент смешения, предотвращающий повторное обучение [6] при произвольном значении и использующийся в холодном старте на метаданных при значении, равном 1.

## 2.3. Преимущества

В отличие от многих популярных рекомендательных систем, ИРНС-мета может хорошо персонализировать рекомендации, основываясь только на данных последнего элемента, с которым взаимодействовал пользователь. Кроме того, за счет кодирования временных меток она показывает результаты, сопоставимые с результатами других моделей, при значительно меньших вычислительных затратах. Еще одной особенностью данной разработки является внедрение метаданных при холодном старте: в ходе экспериментов на реальных датасетах было продемонстрировано, что такой подход существенно повышает качество рекомендаций. Также важным преимуществом ИРНС-мета является короткое время обучения (<6 часов), обусловленное использованием выборки по важности, дающей результаты, близкие к эталонным.

## 2.4. Недостатки

Архитектура ИРНС-мета подразумевает работу с сеансами; по этой причине она обладает следующим недостатком: при выдаче рекомендаций на основе данных предыдущих сеансов значительно снижается эффект персонализации, так как модель «забывает» предпочтения пользователя. Более того, на рекомендательную систему одновременно влияет множество источников информации, поэтому сбой в любом ее компоненте может критически сказаться на работе всей системы. Также стоит отметить, что поведение модели изучено не в полной мере, так как ее обучение происходило на открытых датасетах, обладающих рядом ограничений и не позволяющих тщательно исследовать взаимодействие между различными факторами, важными для динамичной среды.

## Вывод

Исходя из проведенного анализа ИРНС-мета, можно сделать вывод о том, что она хорошо адаптируется к быстро изменяющимся предпочтениям пользователя и эффективно решает проблему холодного старта за счет использования метаданных, что делает эту рекомендательную систему вполне конкурентоспособной в настоящее время. При этом стоит учитывать некоторые ее особенности (например, сеансы), и применять ее только в тех сферах, в которых эти факторы не будут оказывать существенного влияния на ее качество и производительность.

## Заключение

В статье рассмотрены одни из самых популярных рекомендательных систем, используемые в промышленных масштабах. Они эффективно решают задачи, связанные с выявлением пользовательских предпочтений и выдачей наиболее релевантных рекомендаций. Такая

ориентация на интересы пользователя делает эти рекомендательные системы хорошим решением в тех сферах деятельности, которые ориентированы на потребление материальных товаров или информационных ресурсов: социальные сети, видеохостинги, интернет-магазины, музыкальные платформы, различные веб-сайты. Тем не менее, они не являются универсальными. Так, в некоторых предметных областях объект рекомендации не может быть представлен в виде единичной записи с уникальным идентификатором, так как включает в себя множество компонентов, и смысловую нагрузку несет именно их комбинация. В частности, в сфере лазерных технологий базовым объектом является набор параметров и их значений. Такие данные в большом количестве существуют в лазерной промышленности и набираются в результате проведения многочисленных экспериментов. Рассмотренные в статье модели не приспособлены к обработке таких структур, поэтому проблема подбора подходящего набора параметров для лазерной промышленности остается открытой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Chen M., Beutel A., Covington P., Jain S., Belletti F., Chi E. Top-K Off-Policy Correction for a REINFORCE Recommender System // WSDM '19. 2019. DOI: 10.1145/3289600.3290999.
2. Laurent T., Brecht J. A recurrent neural network without chaos // ICLR. 2017. DOI: 10.48550/arXiv.1612.06212.
3. Ma Y., Narayanaswamy B., Lin H., Ding H. Temporal-Contextual Recommendation in Real-Time // KDD '20. 2020. DOI: 10.1145/3394486.3403278
4. Schulman J., Levine S., Abbeel P., Jordan M., Moritz P. Trust region policy optimization. // International Conference on Machine Learning. 2015, С. 1889–1897. DOI: 10.48550/arXiv.1502.05477.
5. Silver D., Huang A., Maddison C. et al Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search // Nature. 2016, Т. 529, №7587, С. 484–489. DOI: 10.1038/nature16961.
6. Srivastava N., Hinton G., Krizhevsky A., Sutskever I., Salakhutdinov R. Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting // The Journal of Machine Learning Research. 2014, №15(1), С. 1929–1958. DOI: 10.5555/2627435.2670313.
7. Swaminathan A., Krishnamurthy A., Agarwal A., Dudik M., Langford J., Jose D., Zitouni I. Off-policy evaluation for slate recommendation // Advances in Neural Information Processing Systems. 2017. DOI: 10.48550/arXiv.1605.04812.
8. Williams R.J. Simple statistical gradient-following algorithms for connectionist reinforcement learning // Machine Learning. 1992, Т. 8, № 3–4, С. 229–256. DOI: 10.1007/BF00992696.

© Николаев Константин Сергеевич (knpreacher@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ: РЕАЛИЗАЦИЯ БАЗОВОГО CI/CD КОНВЕЙЕРА

## SOFTWARE LIFECYCLE AUTOMATION: IMPLEMENTATION OF THE BASIC CI/CD PIPELINE

**A. Nikolaeva  
A. Zabrodin**

*Summary.* CI/CD pipelines are a relevant and convenient way to automate the process of building and deploying an application now.

The CI/CD concept includes not only basic stages, such as getting source code, its compilation and deployment, but can also be supplemented by various automated tests, static and dynamic code analysis, as well as other tools aimed at improving the quality and reliability of the developed software.

In this article, we will look at a practical example of implementing a basic CI/CD pipeline using popular and accessible tools Jenkins, Docker and Kubernetes.

*Keywords:* Continuous Integration (CI), Continuous Delivery (CD), Jenkins, Docker, Kubernetes.

**Николаева Александра Ильинична**

Петербургский государственный университет  
путей сообщения императора Александра I  
sasha.fedotova.01@mail.ru

**Забродин Андрей Владимирович**

кандидат исторических наук, доцент,  
Петербургский государственный университет  
путей сообщения императора Александра I  
zabrodin@pgups.ru

*Аннотация.* На сегодняшний день использование CI/CD конвейеры является актуальным и удобным способом автоматизации процесса сборки и развертывания программного обеспечения (ПО).

Концепция CI/CD включает в себя не только базовые этапы, такие как получение исходного кода, его сборка и развертывание, а также может дополняться проведением различных автоматизированных тестов, статическим и динамическим анализом кода, а также другими инструментами, направленными на повышение качества и надежности разрабатываемого программного обеспечения.

В данной статье исследуется практический пример реализации базового CI/CD конвейера на популярных и доступных инструментах Jenkins, Docker и Kubernetes.

*Ключевые слова:* Continuous Integration (CI), Continuous Delivery (CD), Jenkins, Docker, Kubernetes.

## Введение

Для понимания процесса реализации базового конвейера непрерывной интеграции и доставки необходимы как теоретические знания, так и практические навыки. В рамках данной статьи мы ставим перед собой задачу на практическом примере рассмотреть этапы этого процесса, изучить необходимые инструменты для их реализации и внедрить базовый конвейер. Дополнительно осуществим модернизацию в виде внедрения статического анализа кода, с целью обеспечения более надежной разработки и качества программного продукта

В классическом варианте процессы в CI/CD конвейере включают в себя два этапа: CI (непрерывная интеграция) и CD (непрерывная доставка), каждый из которых включает отдельные процессы и этапы, направленные на автоматизацию различных аспектов разработки и развертывания программного обеспечения. [1][2]

Определим исходные условия для нашего примера:

- код хранится в репозитории (GitHub),
- приложение написано на языке программирования Python,

- приложение работает в контейнере (Docker),
- используется публичное хранилище контейнеров (Docker Hub),
- приложение разворачивается в оркестраторе (Kubernetes).

Для реализации CI/CD конвейера будет использоваться Jenkins. Инструмент был выбран за его доступность (бесплатность и наличие нескольких вариантов разворачивания), хорошую документацию, большое сообщество, и как следствие, разнообразие расширений (плагинов) [3].

## Сборка приложения с помощью контейнеризации

Контейнеризация — это упаковка программного кода с библиотеками операционной системы и всеми зависимостями, которые необходимы для выполнения кода. Контейнеры запускаются и работают абсолютно одинаково на любой инфраструктуре (Linux, Windows, кластер K8S и другое), при этом не важно, где он запускается — результат работы будет одинаковый.

Одним из наиболее популярных инструментов для контейнеризации приложений на данный момент — Docker.

Docker — это инструмент, помогающий разработчикам создавать, распространять и запускать контейнерные приложения.

Для формирования Docker-образа требуется: установить Docker, подготовить Dockerfile с инструкциями формирования образа и запустить процесс сборки через команду «docker build» с соответствующими параметрами [4].

Основные инструкции Dockerfile:

- FROM — инструкция, указывающая базовый образ для всех последующих инструкций. Каждый Dockerfile должен начинаться с конструкции FROM.
- WORKDIR — инструкция, указывающая рабочую директорию для последующих команд RUN, CMD, ENTRYPOINT, COPY, ADD.
- ENV — инструкция, создающая в образе переменную среды и устанавливающая ей указанное значение.
- COPY — инструкция, копирующая файлы или директории из указанного источника на файловой системе хоста в образ по указанному пути.
- RUN — инструкция для выполнения указанной shell команды.
- CMD — инструкция, указывающая shell команду, которая выполнится при запуске контейнера из этого образа.
- EXPOSE — инструкция о том, что определенный порт должен быть доступен для обмена данными в контейнере.

Подробную информацию по каждой команде и остальные команды можно посмотреть в официальной документации Docker [4].

После сборки Docker-образа его можно использовать локально или разместить образ в хранилище образов (Registry) с помощью команды «docker push». Docker registry — это инструмент, обеспечивающий хранение и обмен Docker-образами. По умолчанию Docker использует Docker Hub (хранилище образов, созданное для разработчиков и участников с открытым исходным кодом), но можно использовать и частное хранилище образов или другое готовое хранилище, например, GitHub Packages.

После завершения процесса сборки приложения переходим к этапу тестирования.

### Тестирование ПО

Тестирование ПО может проводиться на кодовой базе приложения, или же на работающем экземпляре приложения.

В рамках статьи рассматривается тестирование кода модульными тестами (unit-тесты). Модульные тесты позволяют проверить на корректность отдельные модули исходного кода программы в изоляции от других частей программы.

Результаты тестирования, как правило, отображаются в отчете, содержащем информацию о том, прошли ли все тесты, если не прошли — то какие и т. п. Также в таком отчете полезно увидеть какой объем кода покрыт тестами. Для этого могут использоваться встроенные функции в инструменты для тестирования (при их наличии), или же дополнительные инструменты.

Для тестирования приложений на Python может использоваться фреймворк pytest с расширением pytest-cov, позволяющим определить покрытие кода тестами. [5]

При запуске тестов Pytest позволяет определить также параметры для плагина pytest-cov, например:

- указание путей или пакетов для измерения покрытия,
- указание типа создаваемого отчета (xml/json, с указанием непокрытых тестами строк кода и другое) и др.

Следует отметить, что фреймворк pytest и его плагин pytest-cov позволяют проверить работу приложения и узнать какой объем кода проверяется, но только по заранее написанным тестам.

Для нахождения возможных уязвимостей в коде без написания тестов используется статический анализ кода. Выбор инструмента для проведения статического анализа кода также зависит от используемого языка программирования. Например, для Python часто используется инструмент Pylint. [6]

Если не использовать дополнительных параметров Pylint выводит в консоль сообщения о найденных недостатках и итоговую оценку качества кода по 10-бальной шкале. Сообщения делятся на 6 категорий: I (Informational) — информационные сообщения, R (Refactor) — сообщения о нарушениях метрики «хорошей практики», C (Convention) — сообщения о нарушениях стандартов кодирования, W (Warning) — предупреждения о стилистических проблемах или незначительных проблемах с программированием, E (Error) — сообщения об ошибках, связанных с важными проблемами программирования, F (Fatal) — сообщения об ошибках, препятствующих дальнейшей обработке данных pylint.

Pylint позволяет передавать множество опций, для настройки сканирования, например:

- настроить сканирование только на определение ошибок уровня Error и Fatal,

- пропустить сканирование указанных файлов,
- указать категории сообщений, при наличии которых сканирование должно завершаться ошибкой,
- настроить формат выводимого отчета и др.

В целом Pylint предназначен для более глубокого анализа кода, выявления потенциальных проблем и обеспечения высокого стандарта качества и читаемости кода.

После прохождения модульных тестов и статического анализа кода можно разворачивать приложение.

### Разворачивание приложения

Для запуска и управления приложениями в контейнерах обычно используют оркестраторы контейнеров. Такие инструменты помогают управлять большим количеством контейнеров и потребляемыми ресурсами, удобно масштабировать их, управлять передаваемыми секретами и другое.

Популярным инструментом для оркестрации является Kubernetes (K8s). Для работы с ним необходимо развернуть кластер, выбрать необходимые ресурсы и подготовить для них файлы разворачивания в YAML формате и применить их.

В рамках данной статьи процесс развертывания K8s кластера подробно не рассматривается. При этом следует отметить, что Kubernetes кластер может быть создан следующими способами:

- развернут вручную на виртуальных машинах (хорошие инструкции можно посмотреть в источниках [7], [8]),
- выдан с помощью облачных провайдеров,
- создан с помощью minikube (инструмент для запуска Kubernetes кластера из одного узла).

Kubernetes предоставляет большое количество объектов для управления, для их описания можно воспользоваться конфигурационными файлами и создать буквально одной командой.

После создания объектов Kubernetes будет самостоятельно отслеживать их состояние и при необходимости править его для соответствия с заданной конфигурацией (например, если какой-нибудь контейнер завершил работу с ошибкой и под упал, Kubernetes пересоздаст его). K8s имеет широкие возможности для управления разворачиваемыми приложениями, подробнее о них можно узнать в документации [7].

Перейдем к организации CI/CD конвейера, и опишем рассмотренных этапов в нём.

### Реализация CI/CD конвейера

Для обеспечения непрерывной интеграции и доставки необходимо автоматизировать процессы сбор-

ки, тестирования и разворачивания приложения, чтобы они запускались при каждом изменении в репозитории. Для достижения этой цели воспользуемся инструментом Jenkins.

Процесс установки и настройки Jenkins вынесен за рамки данной статьи, однако вы можете найти соответствующие инструкции в официальной документации [9].

Определение конвейера записывается в текстовый файл (называемый Jenkinsfile), который может храниться в репозитории проекта или в самом Jenkins. Jenkinsfile может быть написан в 2-х вариантах синтаксиса — декларативный (Declarative) и скриптовой (Scripted).

Декларативные и скриптовые конвейеры устроены принципиально по-разному. Декларативный синтаксис появился позже скриптового, предоставляет больше синтаксических функций и разработан для упрощения написания и чтения кода конвейера. Рассмотрим подробнее структуру декларативного конвейера.

Jenkinsfile в декларативном варианте представляет собой многоуровневую структуру. На верхнем уровне — пайплайн (pipeline), который состоит из этапов (stages). Блок этапа определяет концептуально отдельное подмножество задач (например, сборка, тестирование и развертывание) и состоит из шагов (steps), шагами могут быть как отдельные операторы, вызовы функций, так и скрипты (script) или нестандартные конструкции-обертки для кода, предоставляемые различными плагинами.

После описания конвейера есть несколько способов запустить его работу: вручную, по расписанию или некоторым автоматизированным способом. Классический вариант автоматизированного запуска — через Webhook, например, из репозитория с кодом при добавлении изменений.

Webhook (вебхук) — это механизм, который позволяет веб-приложению автоматически отправлять HTTP-запросы на определенный URL-адрес при наступлении определенных событий. В контексте CI/CD, Webhook может использоваться для уведомления системы CI о том, что произошли изменения в репозитории кода, после чего запускается процесс автоматической сборки, тестирования и развертывания приложения.

Для демонстрации реализации CI/CD конвейера в Jenkins рассмотрим конкретный пример, представив для наглядности что у нас есть веб-приложение, реализующее мини-игру «камень-ножницы-бумага». Приложение не имеет аутентификации, нет базы данных или хранилища секретов. Оно ожидает на вход запрос с именем пользователя («rock» — камень, «paper» — бумага,

«scissors» — ножницы), проверяет что ход корректный, случайным образом выбирает свой ход (из тех же вариантов) и определяет кто выиграл. Помимо основного функционала, также реализован метод для получения списка доступных ходов, для проверки работы приложения будут использоваться оба описанных метода.

Код приложения и дополнительные файлы можно посмотреть в репозитории [10].

Ниже представлен реализованный Jenkinsfile, этапы которого рассмотрим подробнее.

```
def app
pipeline {
agent {label 'python && kubectl'}

// Параметры конвейера, позволяют передать значения через UI Jenkins или иным способом для управления работой конвейера parameters {
string(name: 'docker_username', defaultValue: 'alexandrafedotova', description: 'Username for Docker Hub')
string(name: 'app_name', defaultValue: 'rps_game', description: 'Docker image name')
string(name: 'branch', defaultValue: 'master', description: 'Project branch name')
string(name: 'repo_url', defaultValue: 'https://github.com/AlexandraFedotova/RPS_game.git', description: 'Git repository url')
string(name: 'k8s_namespace', defaultValue: 'rps-game-develop', description: 'K8s namespaces for resource creation')
}

stages {
// Получение исходного кода приложения из репозитория, код берется из указанного в параметрах репозитория и ветки
stage('Get source code'){
steps {
checkout scmGit(branches: [[name: «${branch}»]], userRemoteConfigs: [[url: «${repo_url}»]])
}
}
// Сборка приложения с помощью Docker, ожидается что в проекте находится корректный Dockerfile
stage('Build image') {
steps {
echo «Build app image: ${docker_username}/${app_name}:${env.BUILD_TAG}»
script {
app = docker.build(«${docker_username}/${app_name}:${env.BUILD_TAG}»)
}
}
}
}
```

// Прохождение тестов и статического анализа кода, команды для установки зависимостей, прохождение тестов и

// сканирования имеют в себе указания на файлы и директории в проекте. Если их не будет команды завершатся с ошибкой

```
stage('Run tests and SAST') {
steps {
withPythonEnv('python3'){
// Install tests requirements
sh 'pip install -r requirements-tests.txt'
// Run pytest
catchError(buildResult: 'SUCCESS', stageResult: 'FAILURE') {
sh 'pytest --cov-fail-under=70 --cov=game --cov-report term-missing tests'
}
// Run pylint
catchError(buildResult: 'SUCCESS', stageResult: 'FAILURE') {
sh 'pylint --fail-under 7 --fail-on E --output-format json2 game'
}
}
}
}
// Отправка образа в хранилище образов Docker Hub (ожидается наличие credentials в Jenkins для подключения к Docker Hub)
stage('Push image') {
steps {
script {
withDockerRegistry(credentialsId: 'DockerCreds') {
app.push()
app.push('latest')
}
}
}
}
// Разворачивание приложения в Kubernetes, используются файлы конфигурации из проекта, переданное пространство имен K8s,
// Для подключения к кластеру используется kubecfg файл, который должен быть заранее добавлен в Jenkins credentials
stage('Deploy app') {
steps {
withKubeConfig([credentialsId: 'KubeConfig', namespace: «${k8s_namespace}»]) {
sh 'kubectl apply -f k8s/game-service.yaml -f k8s/game-deployment.yaml'
}
}
}
}
```

```
post {
  always {
    cleanWs()
  }
}
```

В разделе pipeline Jenkinsfile-а 4 блока:

1. agent — указание о том на каком узле Jenkins-а должен выполняться конвейер. Для всех узлов в Jenkins можно задавать лейблы, любые описания узлов, по которым с ними можно работать.
2. parameters — объявленные параметры конвейера, они могут использоваться в ходе работы конвейера. Для всех параметров определены значения по умолчанию, также их можно переопределить при запуске конвейера.
3. stages — этапы конвейера,
4. post — описание действий, выполняющихся после завершения основных этапов конвейера.

В реализованном конвейере 5 основных этапов (смотри рис. 1):

1. получение кода из git репозитория,
2. сборка приложения,
3. прохождение модульных тестов и статического анализа кода,
4. отправка собранного артефакта (Docker-образа) в Docker Hub,
5. разворачивание приложения в K8s кластере.

Помимо 5 основных этапов можно заметить 2 не описанных прямо в блоке stages в Jenkinsfile-e: Declarative: Checkout SCM, Declarative: Post Actions. Первый этап отвечает за получение Jenkinsfile-а из репозитория, второй описан в блоке post и в данном случае — очищает рабочую область на агенте, на котором выполнялся конвейер.

Получение кода из репозитория реализовано с помощью расширения Jenkins Pipeline: SCM Step и кроме

получения данных репозитория и нужной ветки ничего не делает.

При сборке приложения использовался плагин Jenkins-а: Docker Pipeline. Плагин предоставляет удобный способ выполнить наиболее частые операции Docker, например, собрать образ, отправить образ в хранилище, выполнить код внутри образа и другое.

Для сборки Docker образа использовался следующий Dockerfile:

```
#Dockerfile
FROM python:3.12-rc
WORKDIR /app
COPY requirements.txt requirements.txt
RUN pip install --no-cache-dir -r requirements.txt
COPY main.py .
COPY game.py .
CMD python main.py
EXPOSE 5000
```

Далее полученный образ будет использоваться на этапе отправки в хранилище, реализованного с помощью того же плагина.

На этапе тестирования создается виртуальное окружения в Python, в которое устанавливаются зависимости (помимо основных зависимостей добавлены pytest, pytest-cov и pylint). После чего в блоках catchError по отдельности выполняются команды по модульному тестированию и статическому анализу кода. Блок catchError используется для того, чтобы даже при упавших тестах и сканировании конвейер продолжил работу и дальнейшие шаги по отправке образа в хранилище и разворачивании были пройдены. Такое поведение допустимо в некоторых случаях (например, в среде разработки) и может контролироваться далее при желании. Однако, данный этап будет подсвечен в UI Jenkins-а как упавший (при упавших результатах тестирования и статического анализа кода).

Stage View

	Declarative: Checkout SCM	Get source code	Build image	Run tests and SAST	Push image	Deploy app	Declarative: Post Actions
Average stage times: (Average full run time: ~32s)	1s	655ms	2s	13s	11s	1s	150ms
#2 май 19 18:37 No Changes	1s	643ms	1s	13s failed	10s	746ms	114ms
#1 май 19 18:33 No Changes	1s	668ms	3s	13s failed	11s	1s	187ms

Рис. 1. Результаты выполнения конвейера в пользовательском интерфейсе Jenkins-а

```
+ pytest --cov-fail-under=70 --cov=game --cov-report term-missing tests
... [100%]

----- coverage: platform linux, python 3.10.12-final-0 -----
Name          Stmts  Miss  Cover  Missing
-----
game/__init__.py  2    0  100%
game/main.py     19   19    0%  1-30
game/rps_game.py 24    9   62%  21, 27-34
-----
TOTAL              45   28   38%

FAIL Required test coverage of 70% not reached. Total coverage: 37.78%
3 passed in 0.03s
```

Рис. 2. Результаты выполнения модульных тестов

Для запуска модульных тестов использовалась команда:

```
pytest --cov-fail-under=70 --cov=game --cov-report term-missing tests
```

Команда запускает прохождение тестов, находящихся в директории tests и подсчет покрытия кода тестами. В параметрах указан модуль для вычисления покрытия кода — game, а также дополнительные параметры для отчета по покрытию, а именно: добавить в отчет указания о непокрытых участках кода и добавить условия для успешного завершения команды — покрытия кода тестами должно быть не менее 70 % (см. рис. 2).

Для запуска статического анализа кода использовалась команда:

```
pylint --fail-under 7 --fail-on E --output-format json2 game
```

В данной команде указаны модуль для сканирования (game), минимальная оценка для успешного прохождения анализа (7), а также добавлено ограничение — если будут найдены ошибки (Error) — сканирование будет считаться неуспешным. Для удобочитаемости результаты сканирования выводятся в json формате. Часть отчета Pylint представлена на рисунке 3.

```
"statistics": {
  "messageTypeCount": {
    "fatal": 0,
    "error": 0,
    "warning": 0,
    "refactor": 2,
    "convention": 11,
    "info": 0
  },
  "modulesLinted": 5,
  "score": 6.75
}
```

Рис. 3. Блок statistics из отчета Pylint

Последний этап — разворачивание приложения. Для этого используем утилиту kubectl и конфигурационные файлы, хранящиеся в репозитории. Для подключения к нужному кластеру используется плагин Kubernetes CLI и kubeconfig файл.

Kubeconfig файл — это файл, использующийся для настройки доступа к кластерам. С этим файлом любой может получить доступ к кластеру, поэтому он является секретом и хранится в Jenkins credentials.

Jenkins credentials — это способ для хранения секретных данных в Jenkins-е и их использование в конвейерах.

Файлы, используемые для разворачивания приложения в Kubernetes представлены ниже:

```
# game-deployment.yaml
---
apiVersion: apps/v1
kind: Deployment
metadata:
  name : rps-game-deployment
labels:
  app: rps-game-app
spec:
  replicas: 2
  selector:
    matchLabels:
      app: rps-game-app
  template:
    metadata:
      labels:
        app: rps-game-app
    spec:
      containers:
        — name : rps-game
          image: alexandrafedotova/rps_game_test:latest
          ports:
```

— containerPort: 5000

```
# game-service.yaml
---
apiVersion: v1
kind: Service
metadata:
  name : rps-game-service
  labels:
    owner: alexandrafedotova
spec:
  selector:
    app: rps-game-app
  ports:
    — port : 80
    targetPort: 5000
  type: LoadBalancer
```

В результате работы конвейера:

1. собран Docker-образ и размещен в Docker Hub под названием «alexandrafedotova/rps\_game\_test:latest»,
2. проведено модульное тестирование приложения (покрытия кода составило 38 %, поэтому тесты считаются «упавшими»),
3. проведён статический анализ кода (найден 2 уязвимости уровня R и 11 уровня C, общая оценка — 6.75, поэтому статический анализ кода также не считается успешно пройденным),
4. приложение развернуто в кластере Kubernetes в пространстве имен «rps-game-develop»: создан 1 деплоймент, 2 пода и 1 сервис (см. рисунок 4).

Развернутое приложение доступно по внешнему адресу сервиса (95.174.89.32), смотри рисунок 5.

Несомненно, что предпочтительным подходом является настройка доступа по DNS-именам, а не по IP-адресам, но это оставляет пространство для последующих улучшений и доработок.

### Итоги

CI/CD процессы полностью охватывают цикл разработки, начиная с написания кода и заканчивая его разворачиванием в рабочей среде. От того, насколько они правильно организованы, зависит удобство его использования и эффективность.

В данной статье на практическом примере было рассмотрено построение базового конвейера с использованием популярных и бесплатных инструментов. В дополнении к этапам сборки и развертывания, в конвейер включены шаги тестирования (только модульные тесты) и прохождения статического анализа кода с помощью Pylint.

Полученный конвейер достаточно легко модифицировать: можно добавить дополнительные шаги и проверки, например сбор метрик кода, а также вынести запуск тестов и анализа кода в отдельный скрипт, что позволит сделать процесс более унифицированным.

```
alex@DESKTOP-E0JHEA3:~$ kubectl get pods -n rps-game-develop
NAME                                READY   STATUS    RESTARTS   AGE
rps-game-deployment-765655b4-x9vq8  1/1     Running   0           15m
rps-game-deployment-765655b4-xgdn2  1/1     Running   0           15m
alex@DESKTOP-E0JHEA3:~$ kubectl get deployments -n rps-game-develop
NAME                                READY   UP-TO-DATE   AVAILABLE   AGE
rps-game-deployment                2/2     2             2           15m
alex@DESKTOP-E0JHEA3:~$ kubectl get services -n rps-game-develop
NAME                                TYPE           CLUSTER-IP      EXTERNAL-IP    PORT(S)          AGE
rps-game-service                   LoadBalancer  10.97.156.191   95.174.89.32  80:32593/TCP    15m
alex@DESKTOP-E0JHEA3:~$
```

Рис. 4. Созданные ресурсы K8s

```
alex@DESKTOP-E0JHEA3:~$ curl 'http://95.174.89.32/paper'
"Bot move is scissors. Bot win"alex@DESKTOP-E0JHEA3:~$
alex@DESKTOP-E0JHEA3:~$ curl 'http://95.174.89.32/paper'
"Bot move is paper. No one win"alex@DESKTOP-E0JHEA3:~$
alex@DESKTOP-E0JHEA3:~$ curl 'http://95.174.89.32/moves'
["rock", "paper", "scissors"]alex@DESKTOP-E0JHEA3:~$
alex@DESKTOP-E0JHEA3:~$
```

Рис. 5. Запросы к развернутому приложению

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Вехен Джульен. Безопасный DevOps. Эффективная эксплуатация систем. — Санкт-Петербург: Питер, 2020. — 432 с. — ISBN 978-5-4461-1336-1. — URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/365290/reading> (дата обращения: 06.05.2024). — Текст: электронный.
2. Джин Ким, Патрик Дебуа, Джон Уиллис, Джек Хамбл. Руководство по DevOps. — Манн, Иванов и Фербер (МИФ), 2018. — 542 с — ISBN 978-5-00100-750-0. — Текст: непосредственный.
3. Рафал Лешко. Continuous Delivery with Docker and Jenkins. — Packt Publishing, 2024 — 332 с. — ISBN 9781787125230 — Текст: электронный.
4. Docker docs URL: <https://docs.docker.com/> Режим доступа: свободный. [дата обращения: 17.04.2024]
5. Pytest: документация на русском языке URL: <https://pytest-docs-ru.readthedocs.io/ru/latest/> Режим доступа: свободный. [дата обращения: 12.05.2024]
6. Pylint 3.1.0 documentation URL: <https://pylint.readthedocs.io/en/stable/> Режим доступа: свободный. [дата обращения: 12.05.2024]
7. Документация по Kubernetes URL: <https://kubernetes.io/ru/docs/home/> [дата обращения: 17.04.2024]
8. Установка и настройка кластера Kubernetes на Ubuntu Server URL: <https://www.dmosk.ru/instruktions.php?object=kubernetes-ubuntu> Режим доступа: свободный. [дата обращения: 17.04.2024]
9. Jenkins User Documentation URL: <https://www.jenkins.io/doc/> Режим доступа: свободный. [дата обращения: 18.04.2024]
10. Репозиторий RPS\_game [https://github.com/AlexandraFedotova/RPS\\_game](https://github.com/AlexandraFedotova/RPS_game) Режим доступа: свободный. [дата обращения: 19.04.2024]

---

© Николаева Александра Ильинична (sasha.fedotova.01@mail.ru); Забродин Андрей Владимирович (zabrodin@pgups.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СБОРА И АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ АКТИВНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В МАСС-МЕДИА<sup>1</sup>

## DEVELOPMENT OF SOFTWARE TOOLS FOR COLLECTING AND ANALYZING THE DYNAMICS OF TIME SERIES BASED ON USER ACTIVITY IN MASS MEDIA

**K. Otradnov  
S. Strashnov  
V. Kalinin**

*Summary.* This paper is devoted to the study of data collection and analysis of user behavior in social media. The study describes several methods developed using the Python language that allow not only to collect data but also to analyze time series, such as the Hurst method. The focus is on identifying fractal characteristics and the degree of stationarity of distributions of time series parameters.

*Keywords:* time series dynamics, data analysis, Python, Hurst method, fractal analysis, stationary distributions.

**Отрадных Константин Константинович**  
старший преподаватель, МИРЭА — Российский технологический университет, г. Москва  
strashnov\_sv@pfur.ru

**Страшнов Станислав Викторович**  
доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы г. Москва  
strashnov\_sv@pfur.ru

**Калинин Владимир Николаевич**  
педагог ДО, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы г. Москва  
kalinin\_vn@pfur.ru

*Аннотация.* Работа посвящена исследованию процессов сбора и анализа данных о поведении пользователей в социальных медиа. В исследовании описан ряд методов, разработанных с использованием языка Python, позволяющих не только осуществлять сбор данных, но и проводить анализ временных рядов, например, таких, как метод Хёрста. Основное внимание уделяется выявлению фрактальных характеристик и степени стационарности распределений параметров временных рядов.

*Ключевые слова:* динамика временных рядов, анализ данных, Python, метод Хёрста, фрактальный анализ, стационарные распределения.

### Введение

В современном информационном обществе масс-медиа и социальные сети играют ключевую роль в формировании и распространении контента, а также взаимодействии между пользователями. Значительный объем данных, генерируемый пользователями в масс-медиа, представляет собой ценный источник информации о их активности, предпочтениях, тенденциях и социокультурных характеристиках.

Разработка программных средств, способных собирать и анализировать динамику временных рядов на основе активности пользователей в социальных медиа, становится предметом все более широкого интереса как в академической, так и в прикладной областях.

Данный подход позволит извлекать информацию и метаданные, необходимые для понимания поведения пользователей, прогнозирования тенденций и разра-

ботки эффективных стратегий в маркетинге, социологии, политике и других областях.

В данном контексте организация сбора данных, их обработка, анализ, визуализация и интерпретация становятся ключевыми этапами разработки программных средств, способных эффективно работать с динамикой временных рядов, основанных на активности пользователей в социальных медиа.

В данной работе будет рассмотрен обзор существующих подходов и методов, а также предложен собственный подход к решению данной проблемы с использованием современных методов сбора, предобработки, хранения данных и прогнозирования временных рядов.

### Обзор связанных работ

Статья [1] обращает внимание на важность эффективной характеристики самоподобных и регулярных

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ), грант № 23–21–00153 «Анализ и моделирование динамики нестационарных временных рядов фрактальных процессов с реализацией памяти (последствия) и самоорганизацией на основе использования дифференциальных уравнений с дробными производными».

паттернов во временных рядах, обладающих краткосрочной и долгосрочной памятью, в различных областях деятельности в условиях постоянно меняющегося и сложного мирового ландшафта.

Особое внимание уделяется анализу динамики возникновения временных срезов для точного, эффективного и своевременного прогнозирования волатильных состояний экономической среды, которая сама по себе представляет собой сложную систему. Для эффективно-го управления выбором данных и достижения надежных прогнозов критическое значение имеет характеристика сложности и самоподобия в финансовом принятии решений.

Статья [1] предлагает анализ на основе двух основных подходов. Первый подход включает использование экспоненты Хёрста [2], рассчитываемой методом рескей-лед-ранга (R/S) и энтропии вейвлет-преобразования для улучшения точности прогнозирования долгосрочного тренда на финансовых рынках. Второй подход включает применение алгоритмов искусственных нейронных сетей (ANN) — Feed forward back propagation (FFBP), Cascade Forward Back Propagation (CFBP) и алгоритм векторного квантования обучения (LVQ) для прогнозирования целей.

Кроме того, в исследовании [3] авторы отмечают, что временные ряды социальных процессов, которые наблюдаются на практике, обладают фрактальными свойствами. Они описывают динамику систем, обладающих памятью и способных к самоорганизации.

Например, [3, 4], анализ зависимости между математическим ожиданием и дисперсией амплитуд изменений в этих временных рядах в зависимости от интервала времени расчета показывает сложные взаимосвязи. Дисперсия, например, изменяется в соответствии с размером «скользящего» окна, следуя закону, аналогичному корню дробной степени, что является существенным отличием от нормального закона распределения.

А в статье [5] представлен систематический обзор пакетов Python с упором на анализ временных рядов. Целью является предоставление обзора различных задач анализа временных рядов и методов предварительной обработки данных, а также обзор характеристик развития пакетов.

Авторы классифицировали пакеты в соответствии с реализованными задачами анализа, методами подготовки данных и средствами оценки полученных результатов (методы и доступ к данным для оценки). Мы также рассмотрели аспекты документации, лицензий, размер сообщества пакетов и используемые зависимости.

Результаты авторов показывают, что прогнозирование является наиболее часто реализуемой задачей, что половина пакетов предоставляют доступ к реальным данным или позволяют генерировать синтетические данные, и что многие пакеты зависят от нескольких библиотек (наиболее используемыми являются numpy, scipy и pandas).

### Разработка программного обеспечения для сбора данных

Разработка программного обеспечения для сбора и анализа динамики временных рядов на основе активности пользователей в массмедиа возможно с использованием готовых и эффективных инструментов для сбора данных. В связи с чем, основным языком для написания программного обеспечения был выбран Python [6–8].

Один из ключевых компонентов такого программного обеспечения будет парсер, который отвечает за сбор и структурирование данных из социальных сетей.

Преимущества Python для написания веб-скраперов заключается в том, что:

1. Python обладает простым и читаемым синтаксисом, что делает его идеальным для быстрого создания и дальнейшей поддержки веб-скрапера;
2. Python имеет огромное количество библиотек для веб-скрапинга, таких как BeautifulSoup [9] (bs4), lxml [10], requests [11], Selenium [12] и др;
3. Python легко интегрируется с другими инструментами и технологиями, такими как базы данных, фреймворки для анализа данных и визуализации.

Более того, в проектируемой системе каждый этап получения, обработки и сохранения информации может быть организован как отдельный модуль, функционирующий как самостоятельная единица и построенный на основе принципов микро сервисной архитектуры [13].

К примеру, парсер можно реализовать на основе библиотеки:

1. requests, для отправки HTTP-запросов на веб-страницы и получения HTML-кода;
2. BeautifulSoup, для парсинга HTML и извлечения нужной информации из веб-страниц.

А модуль обработки временных рядов, на основе библиотеки:

1. pandas, для работы с данными в формате таблицы, представленными в виде временных рядов.
2. numpy, для выполнения математических операций и работы с многомерными массивами, что может быть полезно при анализе временных рядов.

3. matplotlib или seaborn, для визуализации временных рядов и результатов анализа.
4. statsmodels или scikit-learn, для статистического анализа временных рядов, построения моделей прогнозирования или выполнения других аналитических задач.

### Использование баз данных временных рядов

Базы данных временных рядов играют ключевую роль в хранении, управлении и анализе данных, которые меняются во времени.

Одни из самых популярных решений для работы с временными рядами:

1. InfluxDB — является высокопроизводительной, распределенной базой данных, специализированной на хранении временных рядов.
2. TimescaleDB — является расширением для PostgreSQL, предназначенным для работы с временными рядами.
3. Apache Cassandra — распределенная NoSQL база данных, которая хорошо подходит для хранения временных рядов.

Базы данных временных рядов применяют, когда есть упорядоченные по времени данные с временными метками, такие как метрики от инфраструктуры, данные датчиков, различные метаданные и др.

Основные преимущества баз данных временных рядов:

Данные временных рядов всегда собираются на протяжении определенного периода времени;

Данные из рабочих нагрузок являются новыми и записываются как вставки. Существующие данные не обновляются путем замены значений;

Когда данные записываются, они автоматически назначаются последнему интервалу времени.

В нашем исследовании было принято решение выбрать TimescaleDB, так как она является расширением для базы данных PostgreSQL, а также:

1. Обеспечивает возможность использования привычного SQL для работы с данными временных рядов, что упрощает разработку и анализ;
2. Масштабируется вертикально и горизонтально, что позволяет поддерживать большие объемы данных и высокую производительность;
3. Имеет встроенную поддержку различных временных функций и агрегаций, что облегчает аналитику и обработку временных данных;

4. Полностью совместима с экосистемой PostgreSQL, что обеспечивает доступ к большому количеству инструментов и библиотек для анализа данных.

Структура базы данных для временных рядов приведена на рисунке 1.



Рис. 1. Поля базы данных временных рядов

База данных временных рядов для каждой записи собирает следующую информацию: категория (уникальный идентификатор временного ряда), время (или шаг интервала записи), значение.

### Анализ временных рядов

Полученные данные из социальных сетей можно представить (визуализировать) в виде временных рядов и после провести их анализ. Для примера, с новостного портала «РИА Новости» (<https://ria.ru/>) были взяты, собраны и обработаны все реакции пользователей за последние 2,5 года (882 дня), рисунок 2.

С данного портала были получены информации о реакциях: «Нравится», «ХаХа», «Удивительно», «Грустно», «Возмутительно», «Не нравится», которые возможно оставить после прочтения новости на портале внизу страницы (рисунок 3)

В качестве первичного анализа динамики временного ряда и определения его особенностей можно использовать метод нормированного размаха Хёрста [2].

Этот метод может быть применен для определения фрактальной размерности  $D$  временных рядов и однозначных самоаффинных кривых [14], а сам метод основан на анализе размаха случайной величины и её среднеквадратичного отклонения [15]. Данный метод дает возможность выявить фрактальные характеристики временных рядов и классифицировать их тип поведения.

Алгоритм метода Хёрста приведен ниже (Алгоритм 1). Результаты приведены на рисунке 4.

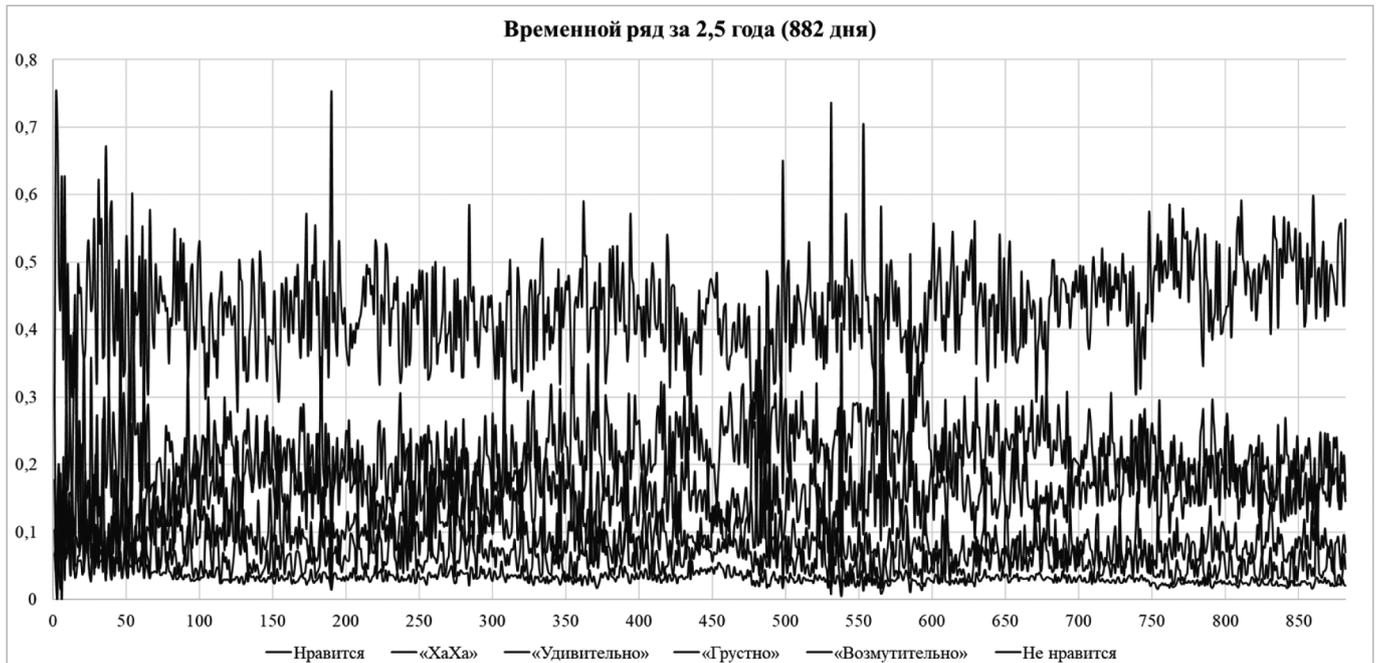


Рис. 2. Временной ряд активности пользователей новостного портала «РИА Новости» за 2,5 года



Рис. 3. Блок реакций под каждой статьёй на сайте «РИА Новости»

Алгоритм 1. Алгоритм метода Хёрста (R/S анализ)	
Ввод:	$\xi(\tau)$ — временной ряд, при $\tau \in [1, t]$
1.	Среднее значение — $\langle \xi \rangle$
2.	$\langle \xi \rangle = \frac{1}{t} \sum_{\tau=1}^t \xi(\tau)$
3.	$\delta(\tau, t) = \sum_{i=1}^{\tau} (\xi(i) - \langle \xi \rangle)$
4.	$R(t) = \max_{1 \leq \tau \leq t} \delta(\tau, t) - \min_{1 \leq \tau \leq t} \delta(\tau, t)$
5.	$S(t) = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (\xi(i) - \langle \xi \rangle)^2}$
6.	$\frac{R(t)}{S(t)} \sim t^H$

Наличие изломов в зависимости  $\frac{R(t)}{S(t)}$  может свидетельствовать о наличии характерных временных масштабов и/или периодичностей. Величина коэффициента

Хёрста позволяет дать классификацию временных рядов по характеру их поведения [16].

Так, на рисунке 4, при расчете зависимости логарифма  $\frac{R(t)}{S(t)}$  от логарифма величины выборки уровней временного ряда ( $t$ ) можно получить следующие линейные уравнения:

1. для эмоции «нравится»  $y = 0,26x + 0,56$  со значением коэффициента корреляции  $R^2 = 0,95$ ;
2. для эмоции «ХаХа»  $y = 0,21x + 0,77$  со значением коэффициента корреляции  $R^2 = 0,97$ ;
3. для эмоции «Удивительно»  $y = 0,26x + 0,57$  со значением коэффициента корреляции  $R^2 = 0,98$ ;
4. для эмоции «Грустно»  $y = 0,21x + 0,76$  со значением коэффициента корреляции  $R^2 = 0,96$ ;
5. для эмоции «Возмутительно»  $y = 0,27x + 0,55$  со значением коэффициента корреляции  $R^2 = 0,98$ ;
6. для эмоции «Не нравится»  $y = 0,27x + 0,51$  со значением коэффициента корреляции  $R^2 = 0,98$ ;

При  $H = 0,5$  — временной ряд носит случайный процесс с независимыми приращениями, где события случайны и некоррелированы.

При  $0 < H < 0,5$  — временной ряд является антиперсистентным, и рост в прошлом означает уменьшение

Метод Хёрста (R/S анализ)

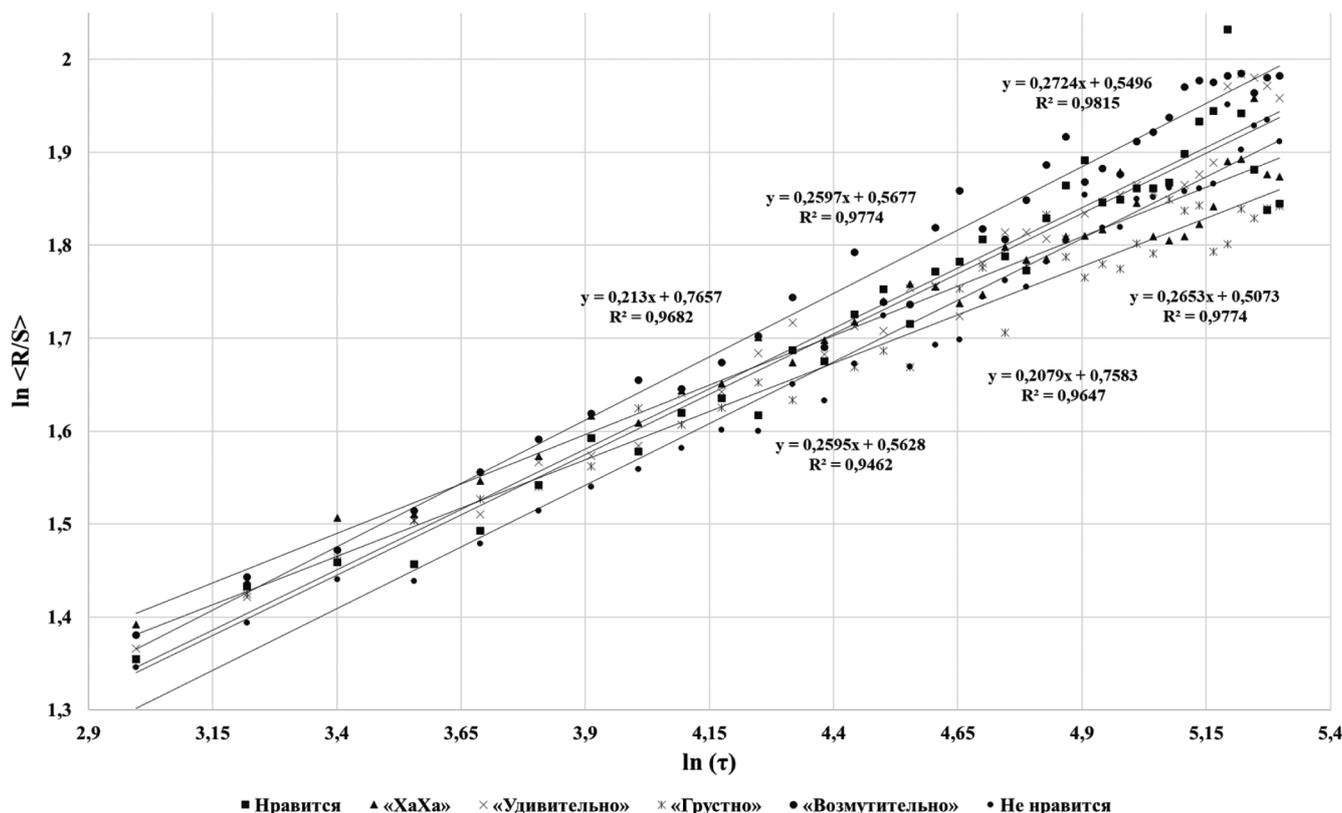


Рис. 4. Определение показателя Хёрста для всех временных рядов эмоций с портала «РИА Новости»

в будущем, и наоборот. То есть, временной ряд склонен в ближайшее время поменять тренд.

При  $0,5 < H < 1$  — временной ряд является персистентным, т.е. трендоустойчивым. Если ряд возрастает, то вероятно, что он сохранит данный тренд еще какое-то время.

Во всех случаях коэффициент Хёрста меньше 0,5 и, следовательно, наблюдаемые временные ряды являются антиперсистентным. Поскольку величины коэффициента Хёрста существенно отлична от 0,5, то из этого следует, что структура данных рядов обладает фрактальностью, а описываемые им процессы имеют краткосрочную память [16].

Из эмпирического закона Хёрста следует, что  $\frac{R(t)}{S(t)} \sim t^H$ , где  $H$  — показатель Хёрста, связанный с коэффициентом фрактальности размерностью  $D$ , связанной соотношением  $D = 2 - H$

Для дальнейшей обработки наблюдаемых временных рядов можно определить величины амплитуды изменения эмоционального отношения пользователей сетевых новостных ресурсов, можно использовать алгоритм 2.

Алгоритм 2. Алгоритм определения величины амплитуды изменения характеристик

Ввод:	$\xi(\tau)$ — временной ряд, при $\tau \in [1, t]$
1.	Define $\omega = 200$ (max значение скользящего)
2.	For w in range ( $\omega$ )
3.	For each $i$ in $\tau \in [1, t - \omega]$
4.	$\xi'(i) = \xi(i + \omega) - \xi(i)$
5.	$\mu(\tau, \omega) = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{N}$ — математическое ожидание
6.	$\sigma^2(\tau, \omega) = \frac{\sum_{i=1}^N \{\tau_i - \mu(\tau_i)\}^2}{N}$ — дисперсия
7.	$As(\tau, \omega) = \frac{\sum_{i=1}^N \{\tau_i - \mu(\tau)\}^3}{N \{\sqrt{\sigma^2(\tau)}\}^3}$ — асимметрия
8.	$Ex(\tau, \omega) = \frac{\sum_{i=1}^N \{\tau_i - \mu(\tau)\}^4}{N \{\sigma^2(\tau)\}^2}$ — 3 эксцесс

Исследование зависимости математического ожидания, дисперсии, асимметрии и эксцесса амплитуд отклонений активности пользователей позволяет определить, являются ли изучаемые временные ряды стационарными или нестационарными. Результаты приведены на рисунках 5–8.

Помимо анализа активности пользователей с помощью метода Хёрста, можно применить метод исключения тренда (алгоритм 3,4) и метод вычисления индекса фрактальности (алгоритм 5). Метод исключения тренда является еще одним способом, позволяющим рассчитать показатель Хёрста

Алгоритм 3. Метод наименьших квадратов (LSM)	
Ввод:	$\xi(\tau)$ — временной ряд, при $\tau \in [1, N]$
1.	$a = \frac{N * \sum_{i=1}^N (\tau_i * \xi(\tau_i)) - \sum_{i=1}^N \tau_i * \sum_{i=1}^N \xi(\tau_i)}{N * \sum_{i=1}^N (\tau_i^2) - \left(\sum_{i=1}^N \tau_i\right)^2}$
2.	$b = \frac{\sum_{i=1}^N \xi(\tau_i) - a * \sum_{i=1}^N \tau_i}{N}$

Алгоритм 4. Алгоритм метода исключения тренда	
Ввод:	$\xi(\tau)$ — временной ряд, при $\tau \in [1, N]$ ; $t$ — количество интервалов
1.	For $\xi(\tau)$ -th part in range $\frac{N}{t}$ do:
2.	Define int $a_i$ and $b_i \leftarrow LSM(\xi(\tau)_i)$
3.	$F_i^2(t) = \frac{1}{t} \sum_{\tau=i-t+1}^{(i+1)t} (\xi(\tau) - y_i(\tau))^2$ , where $y_i(\tau) = \tau * a_i + b_i$
4.	$F(t) = \sqrt{\frac{t}{N} \sum_{i=0}^{N-1} F_i^2(t)}$

Строя зависимость  $\log F(t)$  и  $\log(t)$ , методом наименьших квадратов определяется наклон аппроксимирующей прямой полученной зависимости, который оценивает значение показателя Хёрста  $H$ . Тогда фрактальная размерность временного ряда:  $D = 2 - H$ .

Кроме того, фрактальный анализ находит практическое применение в изучении взаимосвязей во временных рядах. Если фрактальная размерность составляет

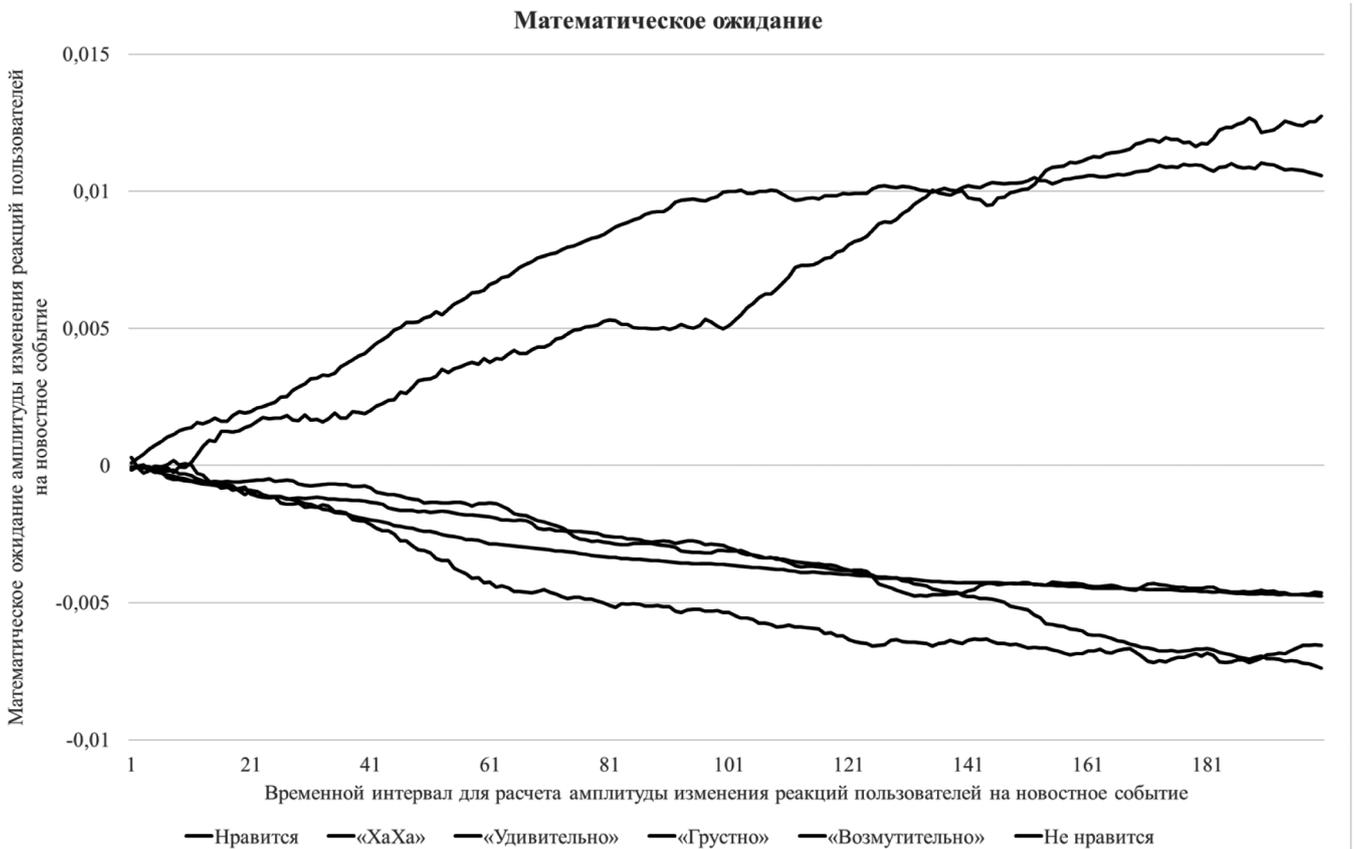


Рис. 5. Зависимость величины математического ожидания амплитуд от временного интервала

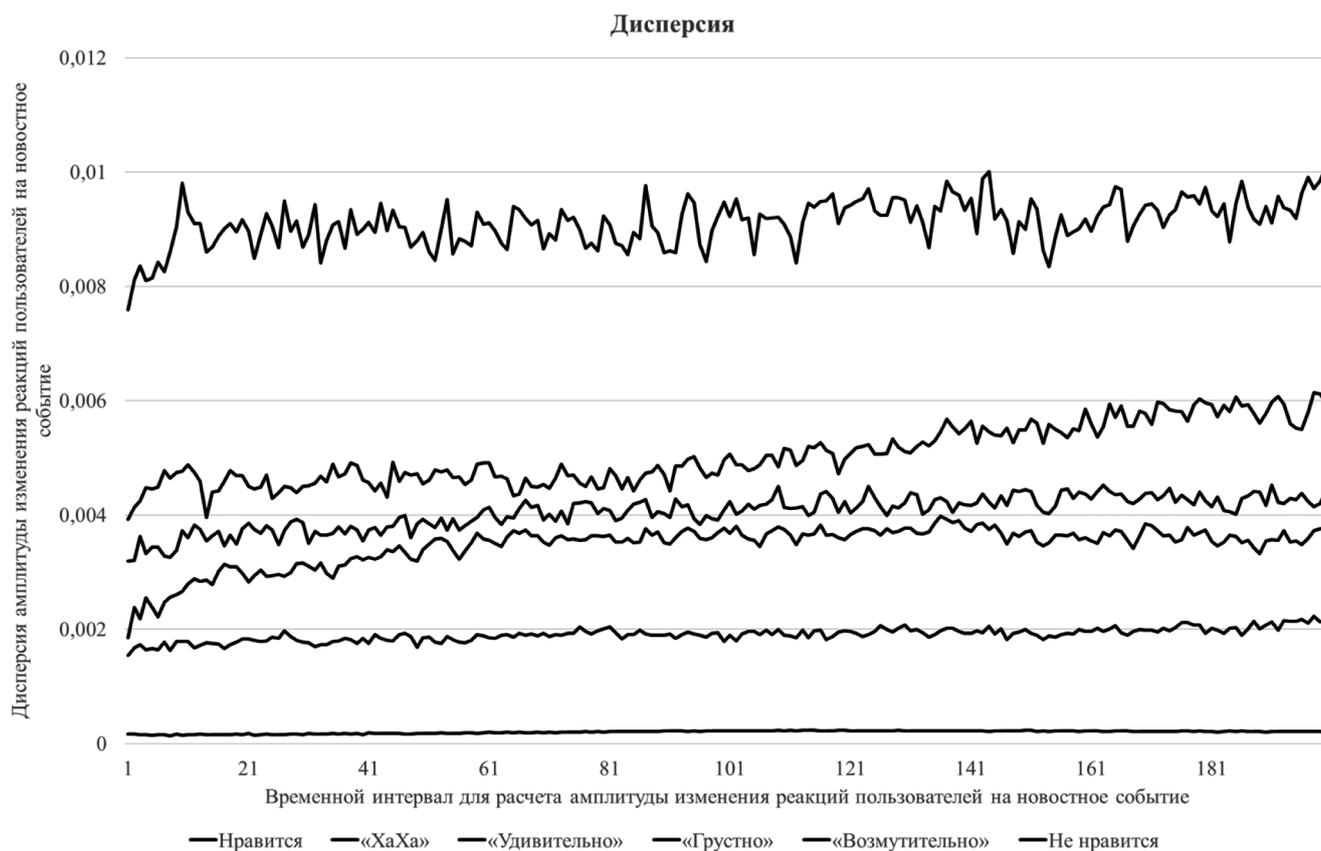


Рис. 6. Зависимость величины дисперсии амплитуд от временного интервала

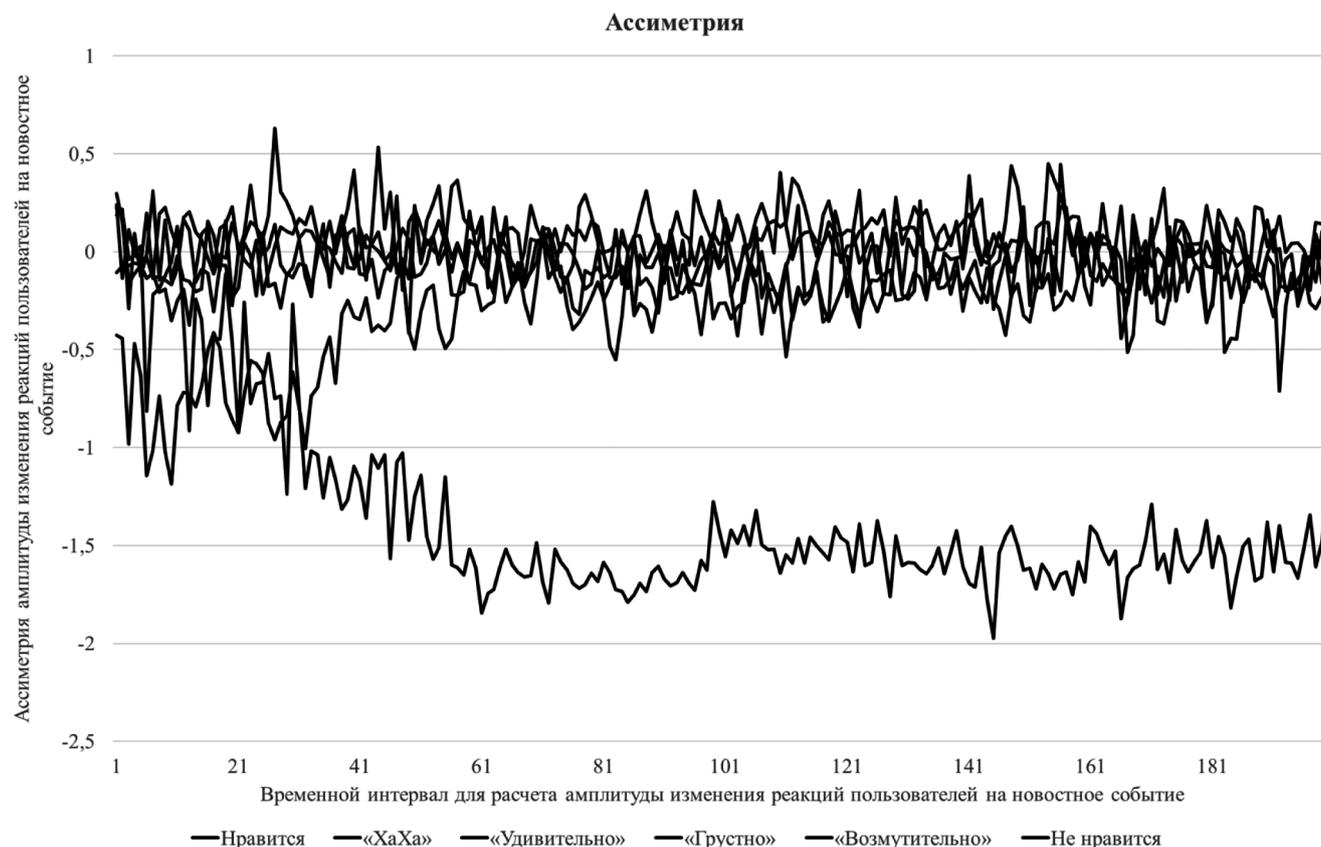


Рис. 7. Зависимость величины ассиметрии амплитуд от временного интервала

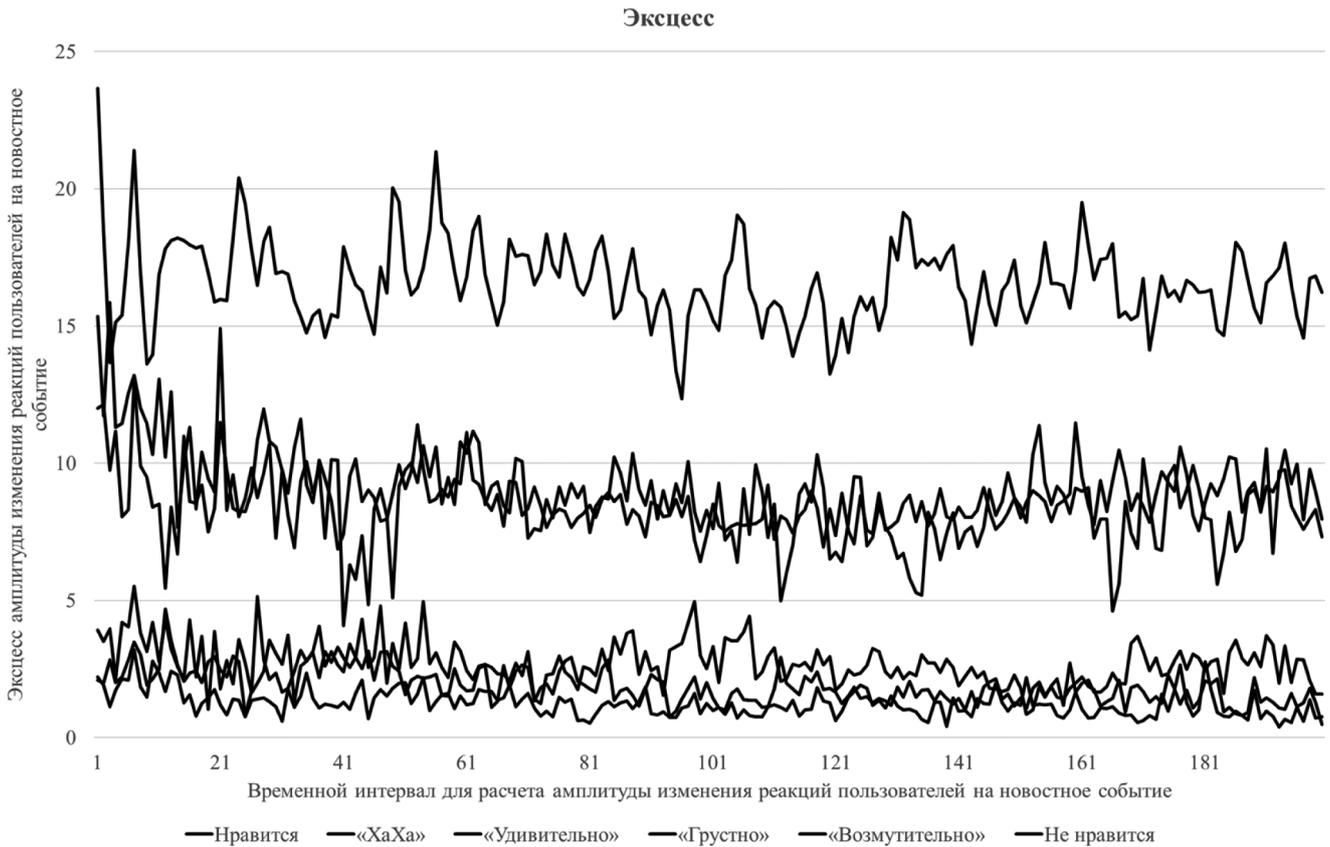


Рис. 8. Зависимость величины эксцесса ожидания амплитуд от временного интервала

1,5, то приращения в ряду являются независимыми. Значение фрактальной размерности меньше 1,5 указывает на персистентный ряд с эффектами «долговременной памяти», а значение больше 1,5 соответствует антиперсистентному поведению временного ряда. [17]

Алгоритм 5. Алгоритм вычисления индекса фрактальности	
Ввод:	$\xi(\tau)$ — временной ряд, при $\tau \in [1, N]$
1.	Define $\omega_m, m = 2^n$
2.	For each $\omega_m$ calculate $A_i(\epsilon)$
3.	$A_i(\epsilon) = \max_{\tau_{j-1} \leq t \leq \tau_j} \xi - \min_{\tau_{j-1} \leq t \leq \tau_j} \xi$
4.	$V_x(\epsilon) = \sum_{i=1}^m A_i(\epsilon)$
5.	draw $\log V_x(\epsilon), \log \epsilon$
6.	$a, b = FSM()$
7.	$\mu = -a, D_\mu = \mu + 1$

Кроме того, можно построить гистограммы распределения величин амплитуд изменения активности пользователей для скользящего окна, равного одному дню (рисунок 9), 10 (рисунок 10), 50 (рисунок 11), 100 (рисунок 12).

Амплитудные распределения демонстрируют резкие пики, высота которых остается практически постоянной независимо от интервала времени анализа. Даже при увеличении длительности интервала времени ширина гистограммы может возрастать, однако высота пиков и их положение относительно нуля остаются практически неизменными. Это поведение типично для стационарных распределений.

**Заключение**

Выводы по обработке данных.

Обработка и анализ наблюдаемых данных позволяет сделать ряд выводов:

1. Временные ряды, описывающие рассмотренные процессы — являются нестационарными;
2. Анализ наблюдаемых временных рядов показывает, что описываемые ими процессы обладают краткосрочной памятью ( $H < 0,5$ );
3. В распределении амплитуд наблюдается небольшая величина асимметрии и распределение амплитуд является почти симметричным.

В итоге, в представленной работе была приведена архитектура сбора данных временных рядов и их последующий анализ, так, была изучена активность пользова-

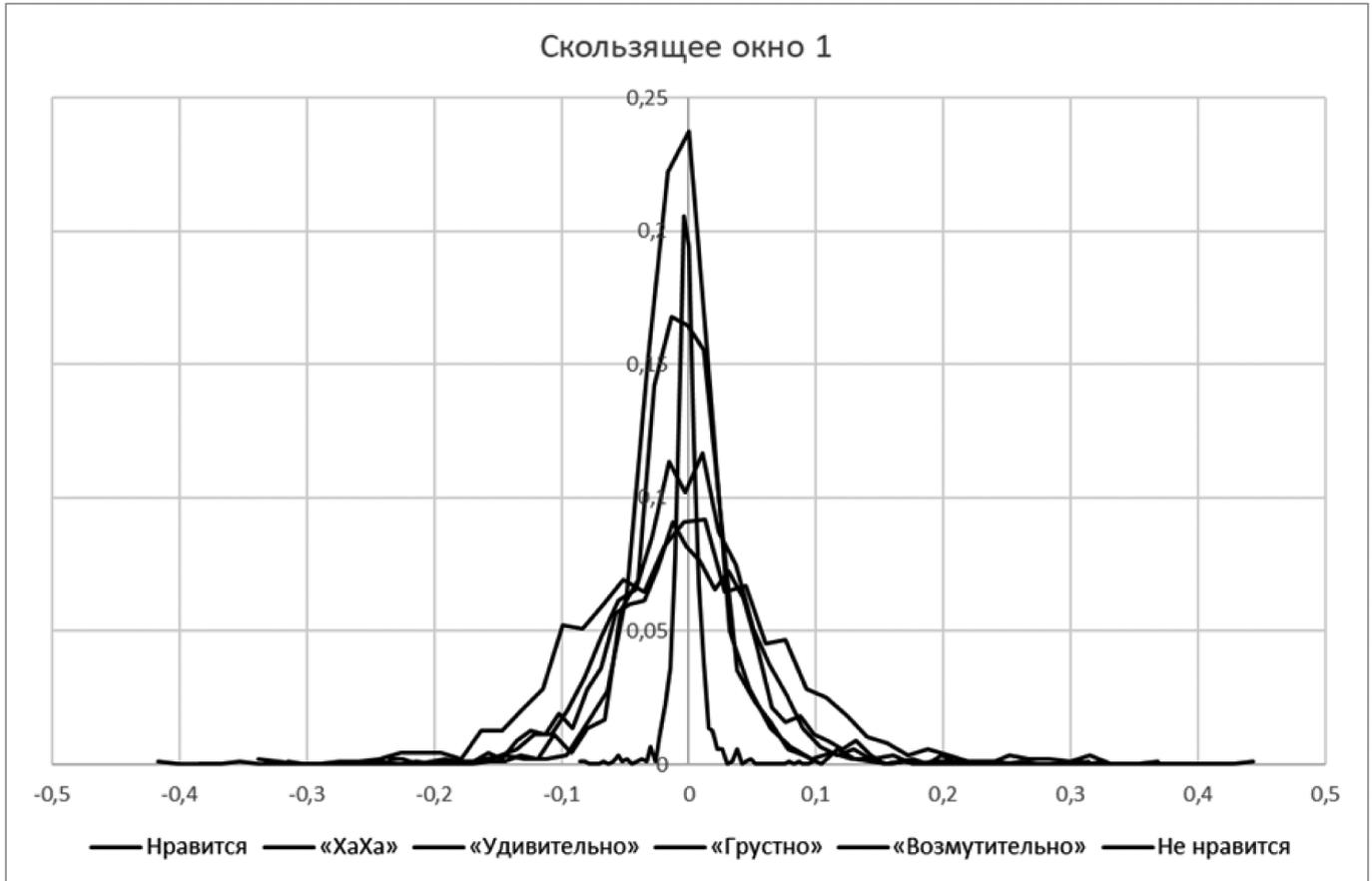


Рис. 9. Гистограммы распределений амплитуд для скользящего окна в 1 день

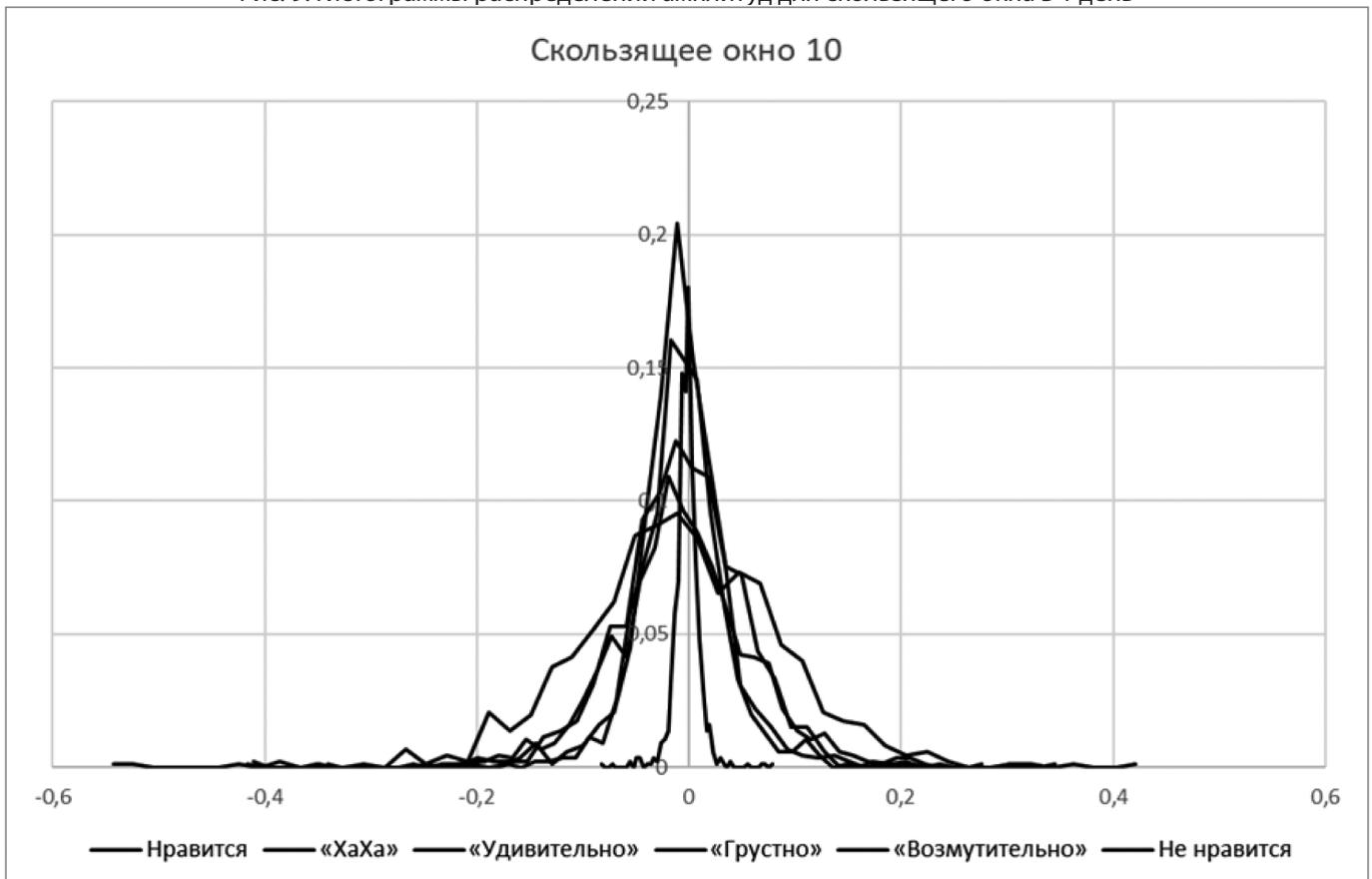


Рис. 10. Гистограммы распределений амплитуд для скользящего окна в 10 дней

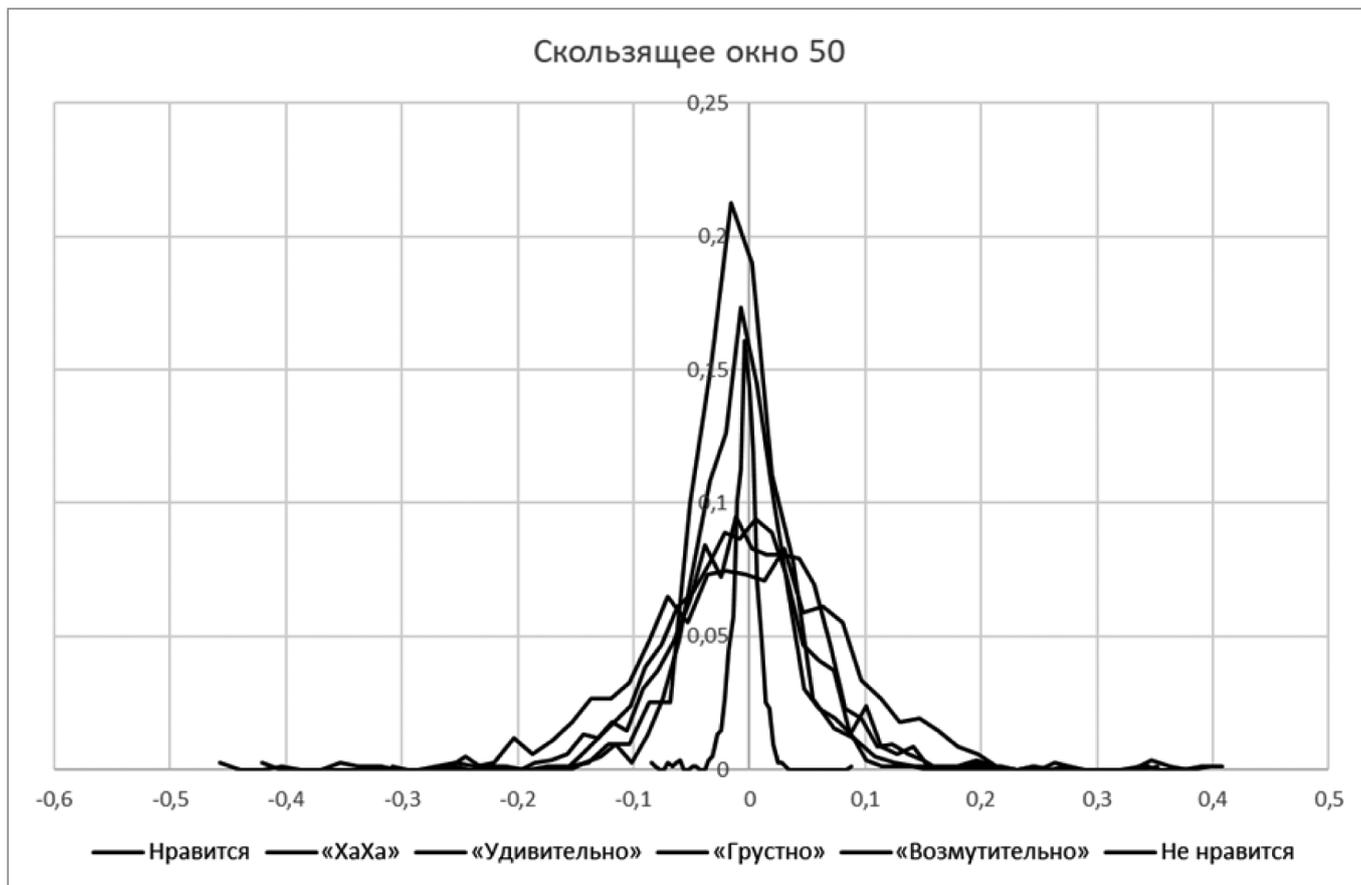


Рис. 11. Гистограммы распределений амплитуд для скользящего окна в 50 дней

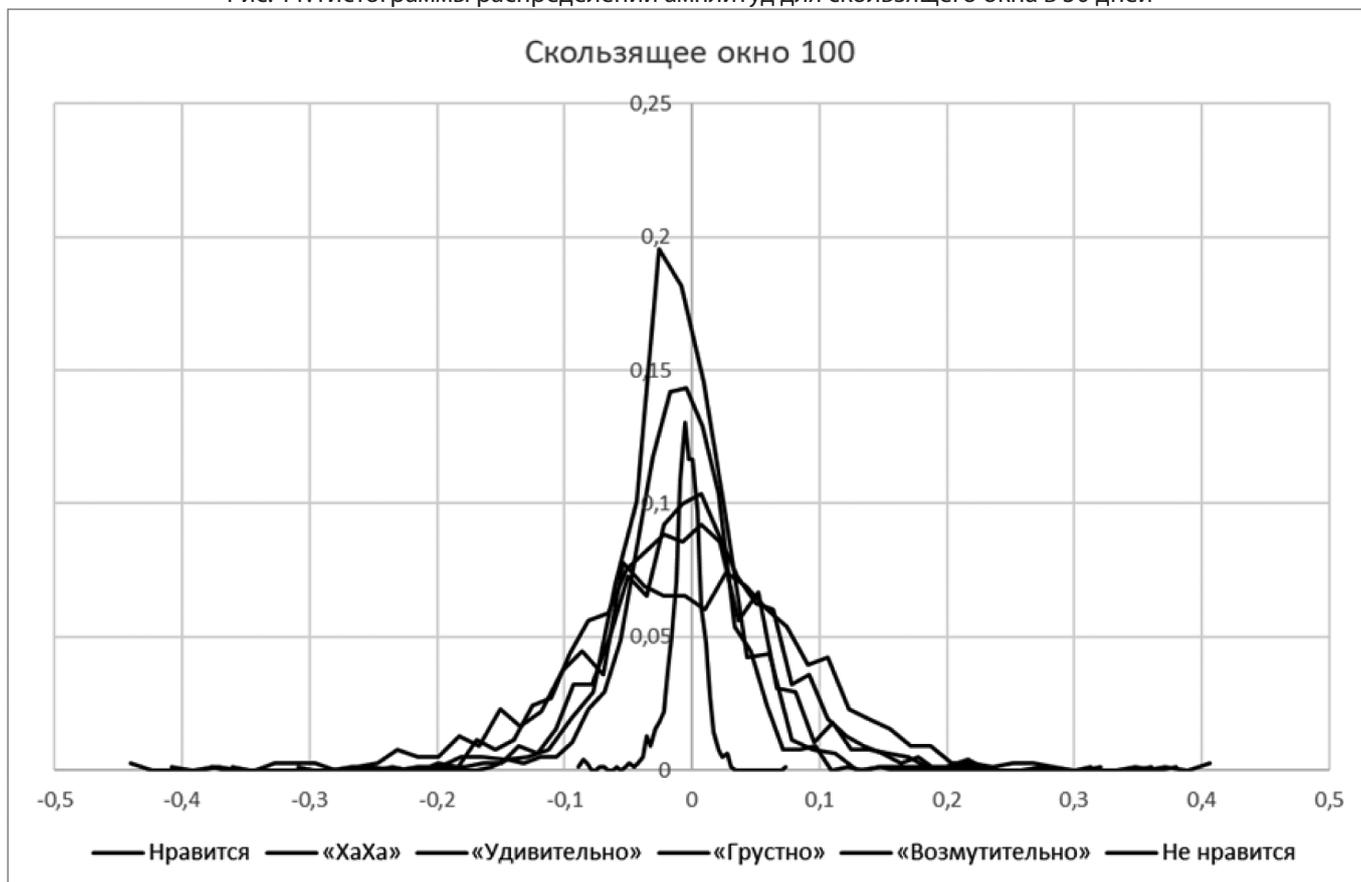


Рис. 12. Гистограммы распределений амплитуд для скользящего окна в 100 дней

телей по комментированию новостей, были построены и обработаны методом нормированного размаха Хёрста временные ряды активностей пользователей.

Исследование методом Хёрста показало, что ряды являются антиперсистентными.

При анализе математического ожидания амплитуд выявлена зависимость от интервала времени расчета этих амплитуд, кроме того, зависимости величин дисперсии от интервала времени имеют сложный нелинейный характер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Karaca Y., Baleanu D. A novel R/S fractal analysis and wavelet entropy characterization approach for robust forecasting based on self-similar time series modeling // *Fractals*. — 2020. — Т. 28. — №. 08. — С. 2040032, <https://doi.org/10.1142/S0218348X20400320>.
2. H.E. Hurst. Long-term storage capacity of reservoirs. // *Transactions of American Society of Civil Engineers*. — 1951. — Т. 116. — С. 770.
3. Dmitry Zhukov, Tatiana Khvatova, Leonid Istratov. A stochastic dynamics model for shaping stock indexes using self-organization processes, memory, and oscillations. *Proceedings of the European Conference on the Impact of Artificial Intelligence and Robotics, ECIAR 2019, Oxford, UK, 31 October–1 November 2019*, pp. 390–401, E-Book ISBN: 978-1-912764-44-0, Book version ISBN: 978-1-912764-45-7.
4. D. Zhukov, T. Khvatova, L. Istratov. Analysis of non-stationary time series based on modelling stochastic dynamics considering self-organization, memory, and oscillations. *ITISE 2019 International Conference on Time Series and Forecasting. Proceedings of Papers, 25-27 September 2019, Granada (Spain), Vol. 1*, pp. 244–254. ISBN: 978-84-17970-78.
5. Siebert J., Groß J., Schroth C. A systematic review of python packages for time series analysis // *arXiv preprint arXiv:2104.07406*. — 2021, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.07406>.
6. McKinley W. Python and data analysis. Per. with English. Slinkin A. A. M.: DMK Press, 2015. 482 pp. ISBN 978-5-97060-315-4.
7. Hellman D. Python Standard Library 3. Reference book with examples. Dialectics. 2nd ed. 2019. 1375 p.
8. Percival G. Python. Development based on testing. 2018. 624 p. ISBN: 978-5-97060-594-3.
9. BeautifulSoup [Электронный ресурс]. URL: <https://www.crummy.com/software/BeautifulSoup/> (дата обращения 25.04.2024).
10. lxml [Электронный ресурс]. URL: <https://lxml.de/> (дата обращения 25.04.2024).
11. Requests [Электронный ресурс]. URL: <https://requests.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения 25.04.2024).
12. Selenium Web Driver [Электронный ресурс]. URL: <https://www.selenium.dev/> (дата обращения 25.04.2024).
13. Mitra R, Nadareishvili I. *Microservices. From architecture to release*. O'Reilly, 2024. 336 p., 978-5-4461-1884-7
14. Латыпов И.А. Фрактальность рекурсивной сети информационнокоммуникационных отношений // *Сб. научных статей «Актуальные тенденции социальных коммуникаций: история и современность»*. — Ижевск, 2013. — С. 149–152.
15. Латыпов И.А. Полисубъектная мультифрактальность информационных отношений в сети: философские аспекты // *Вестник Гуманитарного университета*. — Екатеринбург, 2014. № 4 (7). С. 80–87. ISSN 2308–8117.
16. Mandelbrot B.B. *The Fractal Geometry of Nature*. W.H. Freeman, Sun Francisco, 1982.
17. Мансуров А.К. Прогнозирование валютных кризисов с помощью методов фрактального анализа // *Проблемы прогнозирования*. 2008, №1 (106). — С. 145–158.

© Отрадных Константин Константинович ([strashnov\\_sv@pfur.ru](mailto:strashnov_sv@pfur.ru)); Страшнов Станислав Викторович ([strashnov\\_sv@pfur.ru](mailto:strashnov_sv@pfur.ru));  
Калинин Владимир Николаевич ([kalinin\\_vn@pfur.ru](mailto:kalinin_vn@pfur.ru))

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ BIM И БЛОКЧЕЙН

## INCREASING THE PRODUCTIVITY OF CONSTRUCTION PROJECTS WITH THE USE OF TECHNOLOGY BIM AND BLOCKCHAIN

A. Petrov  
A. Poshev

*Summary.* This paper examines the potential of integrating building information modeling (BIM) and blockchain technology in the construction process to improve project productivity and data management. This line of research is important for the prospects of the construction industry and can enhance coordination and collaboration among project participants, as well as improve the quality and safety of construction processes.

*Keywords:* integration, blockchain, BIM technologies, interaction, processes, information model.

**Петров Андрей Евгеньевич**

доктор технических наук, профессор,  
ФГАОУ «Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСИС» г. Москва

**Пошев Азраиль Умар-Бекович**

аспирант, ФГАОУ «Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСИС» г. Москва  
azrail.poshev@mail.ru

*Аннотация.* В данной статье рассматривается потенциал интеграции информационного моделирования зданий (BIM) и технологии блокчейн в строительном процессе с целью повышения производительности проектов и улучшения управления данными. Данное направление исследований представляет важность для перспектив развития строительной индустрии и может способствовать повышению координации и сотрудничества между участниками проектов, а также улучшить качество и безопасность строительных процессов.

*Ключевые слова:* интеграция, блокчейн, BIM технологии, взаимодействие, процессы, информационная модель.

### Введение

Современная строительная индустрия сталкивается с вызовами, связанными с необходимостью повышения производительности проектов, улучшения эффективности управления данными и обеспечения прозрачности процессов. В связи с этим актуальной проблемой становится внедрение инновационных технологий, способных решить эти проблемы.

Внедрение децентрализованных систем в разные сферы экономики набирает обороты начиная с 2015 года. Строительная сфера — не исключение. Управление проектами и цепочками поставок часто связаны с проблемами прозрачности и добросовестного выполнения работ. Блокчейн в строительстве помогает сделать процесс более эффективным. Данные в децентрализованной сети неизменны. Все участники проекта способны отслеживать каждый этап реализации.

Интеграция блокчейн в BIM может обеспечить прозрачность и безопасность данных, улучшить управление ресурсами и скоординировать деятельность участников проекта.

Цель данной работы заключается в рассмотрении технических аспектов интеграции блокчейн и BIM, определении методик интеграции и оценке потенциальных преимуществ, которые может принести совместное использование этих технологий.

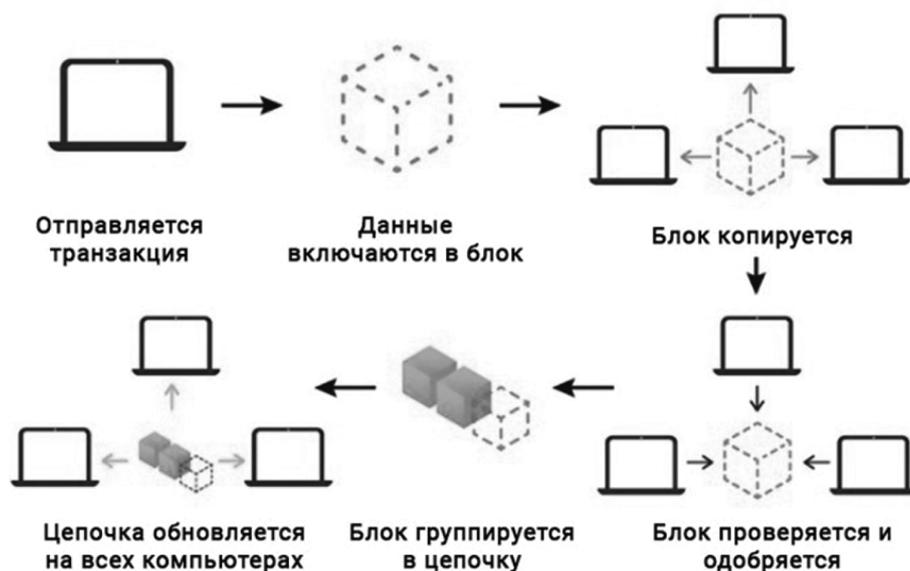
### 1. Анализ состояния вопроса

Информационное моделирование зданий (BIM) представляет собой интегрированный процесс, который позволяет участникам проекта эффективно управлять информацией о здании на протяжении всего его жизненного цикла. Это включает в себя создание цифровой модели, содержащей всю необходимую информацию о физических и функциональных характеристиках здания. Однако, существует некоторые проблемы, связанные с безопасностью, централизованным хранением данных и недостаточной прозрачностью в процессе совместной работы участников проекта.

Технология блокчейн, с другой стороны, представляет собой распределенную систему баз данных, состоящей из последовательно выстроенной цепочки цифровых блоков, в каждом из которых хранится информация о предыдущем и следующем блоках. Это своеобразная цифровая тетрадь, в которой записи неизменны благодаря механизму хеширования — уникальному набору буквенных и цифровых символов, где изменение одного символа влечет изменение в других блоках. Главное преимущество блокчейна в его прозрачности, потому что каждый может ознакомиться с информацией внутри блоков, но никто не в силах ее изменить или уничтожить, плюс она зашифрована.

Эта технология, которая питает криптовалюты, такие как Биткоин, но ее применение выходит за рамки фи-

## Как работает блокчейн?



нансов. Технология блокчейн внедряется в различных отраслях, таких как здравоохранение, цепочки поставок и недвижимость, и это лишь некоторые из них.

В сети блокчейн множество участников, которые сотрудничают между собой для обработки и подтверждения операций. Каждая запись в базе данных называется блоком и содержит такие сведения, как временная метка транзакции и ссылки на предыдущий блок. Эта характеристика делает невозможным для кого-либо ретроспективное изменение информации о записях. Кроме того, поскольку одна и та же транзакция регистрируется в нескольких системах распределенных баз данных, технология безопасна в разработке.

### Схема работы блокчейн

В связи с этим, блокчейн становится общедоступной и безопасной структурой данных.

Интеграция BIM в технологию блокчейн может привести к ряду преимуществ для строительной отрасли. Во-первых, блокчейн может обеспечить безопасное и прозрачное хранение и передачу данных, что повысит уровень конфиденциальности и устойчивости информации в процессе проектирования, строительства и эксплуатации зданий. Во-вторых, интеграция BIM и блокчейн позволит создать единую информационную среду для всех участников проекта, что способствует повышению координации и сотрудничества между ними. В-третьих, блокчейн может устранить проблемы централизованного хранения информации, обеспечивая доступ ко всей истории изменений в BIM модели, что повысит прозрачность и ответственность за действия участников проекта.

Технические особенности интеграции включают в себя анализ возможностей блокчейн технологии в контексте BIM процессов, сопоставление технических характеристик обеих систем и разработку модели интеграции, включая определение структуры данных, проектирование процессов взаимодействия и интеграцию существующих приложений.

### 2. Определение проблемы и решения

Процесс BIM по-прежнему сталкивается со следующими проблемами:

- взаимодействие данных;
- безопасность;
- совместная работа.

Возведение зданий и сооружений — это процесс, в котором участвуют эксперты из разных областей. Им необходимо сотрудничать и обмениваться данными, чтобы разрабатывать, реализовывать и эксплуатировать проекты.

В отрасли, где преобладает бумажная работа (заявки, тендеры, контракты, разрешения, претензии и другие административные дела), децентрализованные системы помогут автоматизировать и оптимизировать многие процессы. Менеджеры проектов будут способны интегрировать данные информационной модели здания (BIM) в блокчейн. На децентрализованной комплексной платформе можно одновременно выполнять операции по проектированию, администрированию и управлению.

По оценкам архитектурной компании Aon, 95 % информации о проекте теряется при переходе к владельцу

завершенного объекта. Блокчейн в строительстве может хранить сведения о жизненном цикле каждого актива, созданного в процессе работы. Записи подлежат данные о гарантиях, сертификатах и заменах.

Все эти проблемы требуют эффективных решений, чтобы обеспечить согласованность, прозрачность и управление рисками, а также эффективное взаимодействие между участниками проекта. Одним из примеров такого решения является блокчейн-платформа BTU Protocol, которая предоставляет инфраструктуру для управления строительными проектами, где можно легко и быстро создавать и отслеживать контракты, соглашения и финансовые транзакции, обеспечивая прозрачность и автоматизацию процессов управления проектами.

Другой проект — Builderium — использует блокчейн для создания протокола, который соединяет заказчиков и подрядчиков в строительной отрасли. Это упрощает процессы выбора подрядчиков, заключения контрактов и управления проектами, обеспечивая прозрачность, безопасность и эффективность всех процессов.

Используя технологию управления информацией о здании (BIM), в цепочке блоков создается неизменяемая цифровая копия проекта. Мониторинг жизненного цикла отдельного актива и планирование обслуживания становятся автоматизированными процессами. Они связаны с искусственным интеллектом и выполняются без участия человека.

Блокчейн в строительстве приведет отрасль к стандартам «Индустрии 4.0». В основе лежит промышленный интернет вещей (IoT) — концепция автоматической передачи данных между физическими объектами. Например, система позволяет открывать дверь квартиры через смартфон, соединяться с домофоном или умным замком.

Этот подход приведет к единому и однозначному пониманию каждым работником всех процессов, а также позволит использовать более экологичные методы производства.

*Цифровые документы.* Вместо традиционных бумажных документов все документы, связанные с процессом строительства, могут быть переведены в цифровой формат и храниться в реестре блокчейна. Каждый документ может быть представлен в виде уникального токена, который содержит информацию о его содержании, времени создания и статусе. Это позволяет участникам процесса строительства легко обмениваться данными и проверять документы, а также автоматически отслеживать историю изменений и версий.

*Подтверждение подлинности и целостности.* Блокчейн может быть использован для записи хэшей документов в блокчейн, что обеспечивает неизменяемость и подлинность документов. При каждом изменении и / или добавлении документа хэш будет автоматически обновляться и записываться в блокчейн. Это позволяет легко проверять целостность и / или подлинность каждого документа, минимизируя риски подделки или потери данных.

*Децентрализованное согласование.* Блокчейн также может обеспечить децентрализованное согласование и подписание документов в процессе строительства. Заинтересованные стороны могут использовать собственные уникальные цифровые идентификаторы для подписания документов, а запись о каждой подписи будет надежно сохраняться в блокчейне. Это значительно упрощает процесс согласования документов, уменьшает необходимость в физической бумажной подписи и повышает эффективность процесса.

Технология блокчейн, с ее децентрализованным и безопасным функционированием, обладает потенциалом для решения этих проблем и революционизирует способы использования BIM в строительстве.

### 3. Методика интеграции блокчейна в BIM процессы

Процесс интеграции BIM и блокчейна, разрабатываемый в этой главе, включает в себя последовательность шагов, каждый из которых является критическим для успешной реализации проекта.

В начале подхода стоит анализ строительных проектов. Это не просто обзор, а глубокое погружение в особенности каждого проекта. Необходимо выявить, объем работ, какие данные используются в BIM, как они взаимодействуют, какие проблемы возникают в процессе обмена информацией между участниками проекта. Этот этап направлен на выявление ключевых требований и особенностей каждого проекта, что станет основой для дальнейшей интеграции.

Второй этап — разработка структуры блокчейн-смарт-контракта. Это сердце системы, где определяется, как эффективно будет управляться информация. Необходимо обеспечить не только безопасное и эффективное хранение данных, но и создать механизмы для автоматизации определенных процессов, а также контроля за доступом к информации. Необходимо провести анализ уязвимых мест в процессе интеграции и разработать соответствующие меры безопасности. Это включает в себя управление доступом к данным, шифрование информации, проверку целостности данных и предотвращение возможной фальсификации информации. Также целесообразно использовать смарт-контракты для опти-

мизации процессов управления правами доступа и автоматизации проверок целостности данных, что позволит создать надежную и безопасную среду для обмена информацией между участниками проекта.

Третий шаг — выбор подходящей блокчейн-платформы, который зависит от требований проекта. Учитывается масштаб проекта, уровень конфиденциальности, необходимость в децентрализации и выбирается соответствующая платформа. Здесь решаем, будет ли это Ethereum с широкими функциональными возможностями, Hyperledger с акцентом на конфиденциальность, Corda с открытым исходным кодом, которая не использует глобальное вещание или иная платформа, соответствующая специфике проекта.

Четвертый этап — разработка программного обеспечения для интеграции. Здесь адаптируются существующие BIM-инструменты и создаются «мосты» для обмена данными с блокчейн-сетью. Важно выявить необходимость изменений в существующем программном обеспечении, а также разработать новое ПО для поддержки интеграции. Для успешной интеграции необходимо проработать аспекты взаимодействия с API и протоколами обмена данными, а также обеспечить совместимость существующих приложений с новой инфраструктурой, что позволит минимизировать технические проблемы и обеспечить эффективное функционирование системы.

Процесс переходит к пятому этапу — этапу тестирования и оптимизации, где система подвергается различным сценариям использования. Анализируется её производительность, выявляются узкие места и проводится оптимизация для обеспечения эффективности работы в реальных условиях.

Последний этап — внедрение системы в реальные строительные проекты и обучение персонала. Это включает в себя переход от традиционных методов управления данными к новой интегрированной модели, основанной на BIM и блокчейне. Система интегрируется в реальные строительные проекты, а персонал обучается новым методам работы, уделяя внимание особенностям блокчейна и управлению данными в интегрированной среде.

Этот этап становится последним, но важным шагом в этом процессе.

Таким образом, с позиции Блокчейна, мы формируем цепочку блоков — набора растущих по мере интеграции проектных решений, вплоть до готовых проектов зданий и сооружений с конкретными параметрами. Вероятно, что присутствующие в новых блоках, ранние блоки представляются там во все более упрощенном виде, в том числе и в разных уровнях LOD (Level Of Development), что системно упрощает последующие блоки. Например,

исходные элементы в LOD-100, формируют блок в LOD-200, который входит в следующий блок как LOD-300, в следующий блок как LOD-350 и становится наконец LOD-400, с тем, что остается в таком виде во всех дальнейших интегральных блоках.

#### 4. Примеры интеграции блокчейна

В мире было несколько реальных случаев использования децентрализованных цепочек в строительной сфере. Например, Provenance разработали платформу, которая позволяет создавать цифровые отчеты о происхождении материалов, сертификатах качества и других документах. Velox.RE запустили систему для автоматизации процесса управления документами, которая позволяет создавать и обмениваться цифровыми документами, упрощает процесс подписания и согласования, а также обеспечивает аутентификацию документов.

А подрядчик Gardner Builders из Миннеаполиса с помощью платформы Bric предоставил владельцу недвижимости цифровую копию здания на блокчейне. Там была создана запись о каждом компоненте, используемом в структуре проекта.

Платформа Bric также помогла австралийской строительной компании Probuild подтвердить оригинальность происхождения панелей, изготовленных в Китае, путем записи всех взаимодействий в цепочке поставок. Это шаг к предотвращению подделок и обеспечению контроля качества материалов.

Вот несколько примеров практического применения технологий блокчейна и токенизации для оптимизации строительных контрактов и платежей:

**Builderium** предоставляет платформу для управления строительными контрактами с использованием технологии блокчейн. Они создают цифровые контракты, которые автоматически выполняют все условия контракта и обеспечивают прозрачность и надежность в процессе строительства.

**ShelterZoom** разработала платформу на основе блокчейна для заключения и управления строительными контрактами. Их решения позволяют участникам контракта электронно подписывать и выполнять сделки в режиме реального времени, обеспечивая прозрачность и безопасность сделки.

**Cobuild** использует блокчейн для упрощения процесса платежей в строительной индустрии. Их платформа позволяет автоматизировать и ускорять процесс подтверждения и выплаты платежей между участниками проекта, снижая риски задержек и споров.

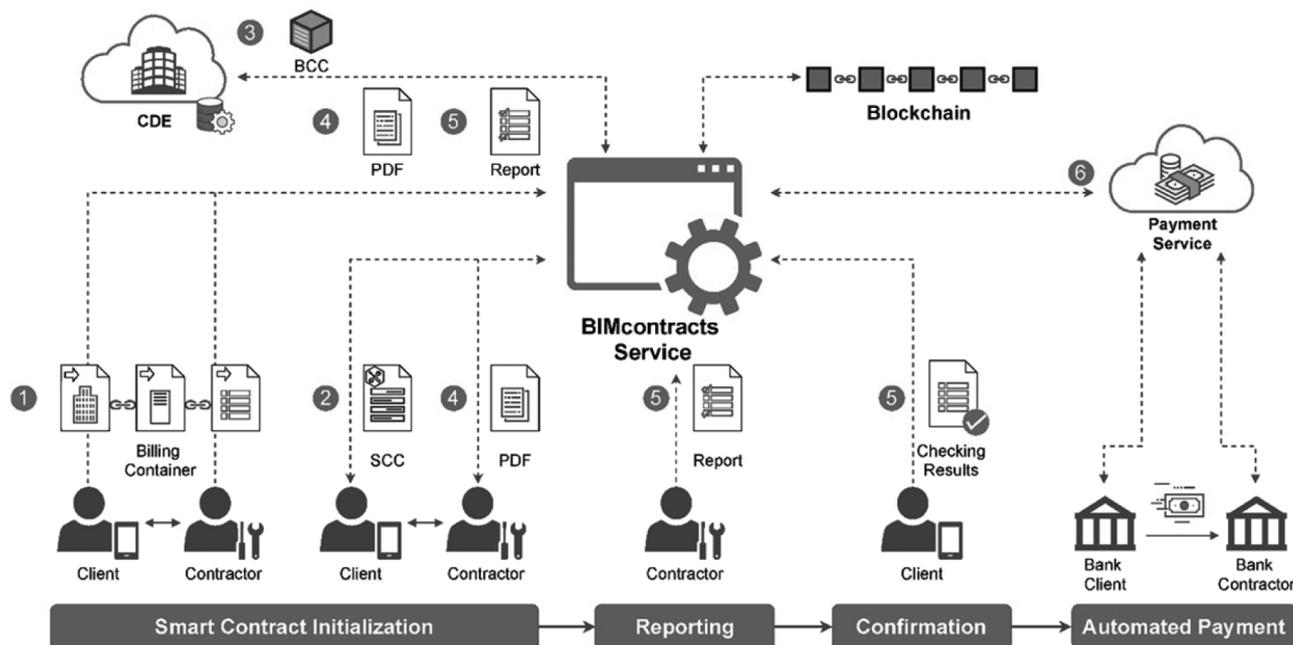


Схема реализации автоматизации документооборота в строительстве

Вот несколько компаний, которые используют блокчейн в BIM / IPD:

Autodesk использует блокчейн для реализации смарт-контрактов, прогнозируемого обслуживания активов, проактивного контроля третьих сторон и мгновенного сотрудничества между всеми участниками IPD.

DB Systel GmbH применяет блокчейн в BIM для токенизации активов интеллектуальной собственности. Компания также участвует в разработке стандартов и рекомендаций по использованию блокчейна в BIM.

Brickschain разработали блокчейн-решение для управления и анализа данных в строительной отрасли. Они предлагают свой протокол, который позволяет отслеживать и подтверждать изменения в BIM-моделях, управлять документооборотом и обеспечивать безопасный обмен информацией.

Toraz также имеет платформу на основе блокчейна для совместной работы и управления строительными проектами. Платформа включает инструменты для создания и обмена BIM-моделями, отслеживания изменений и автоматического утверждения проектных решений.

## 5. Преимущества и недостатки

### Преимущества

**Децентрализация.** Блокчейн работает на основе сети, где нет единого центра управления. Это обеспечивает большую безопасность и устойчивость к атакам.

**Безопасность данных.** Блокчейн использует криптографические методы, чтобы защитить данные. Каждая транзакция или запись в блокчейне хранится в виде хэша. Это делает блокчейн надёжным и защищенным от несанкционированного изменения или мошенничества и доступа злоумышленников.

**Прозрачность.** Полезен в областях, где важно проследить и подтвердить историю транзакций. Например, в сфере поставок и логистики блокчейн может помочь отследить путь товара от производителя до потребителя.

### Недостатки

**Неподвижность данных.** Как только данные записаны в сеть, их сложно изменить и практически невозможно удалить. Например, если в блокчейне хранится неправильная информация о правах собственности на недвижимость, её будет сложно исправить без вмешательства большинства участников сети.

**Отсутствие стандартов.** Блокчейн-проекты разрабатывают на разных языках и консенсусах. При этом все они обособлены друг от друга. Перенести активы из одного блокчейна в другой в разы сложнее, чем перевести деньги между вкладами в разных банках.

### Выводы

Таким образом, интеграция блокчейн в BIM представляет собой комплексную задачу, требующую внимательного анализа целей, технических аспектов и организационных аспектов внедрения.

После интеграции BIM и блокчейна можно ожидать целого ряда выгод. Улучшение управления данными и документацией проектов, повышение доверия к информации и уменьшение риска подделки данных.

Осуществление данных выгод позволит повысить эффективность работы над проектами и уменьшить риски, связанные с ошибками в данных. В завершение, на основе проведенного анализа и разработанных методик интеграции можно сделать вывод о целесообразности интеграции блокчейн и BIM и обозначить потенциальные направления для будущих исследований и разработок в этой области.

Реализация такой интеграции может привести к более эффективному управлению проектами, повышению безопасности и целостности данных, и, как следствие, к улучшению процессов проектирования и строительства.

Статистика по использованию блокчейна в разных бизнесах показывает, что в будущем его будут использовать чаще. Например, согласно исследованию PwC, еще в 2018 году 84% компаний исследовали блокчейн или активно работали с ним. IBM, Walmart, Maersk и JPMorgan Chase уже внедрили блокчейн-решения в свои процессы. Аналитики ожидают, что в 2024 году на блокчейн будут тратить почти в три раза больше, чем в 2023-м.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Суккар, «Платформа информационного моделирования зданий: основа исследований и предоставления услуг заинтересованным сторонам отрасли», Автоматизация в строительстве, том 18, № 3, стр. 357–375, 2009.
2. Ю. Лу, З. Ву, Р. Чанг и Ю. Ли, «Информационное моделирование зданий (BIM) для зеленых зданий: критический обзор и направления на будущее», Автоматизация в строительстве, том 83, стр. 134–148, 2017.
3. К. Перера, Р. Ранджан, Л. Ван, С.У. Хан и А.Я. Зомая, «Конфиденциальность больших данных в эпоху интернета вещей», ИТ-специалист, том 17, № 3, стр. 32–39, 2015.
4. К. Перера, Р. Ранджан и Л. Ван, «Сквозная конфиденциальность для открытых рынков больших данных», IEEE Cloud Computing, том 2, № 4, стр. 44–53, 2015.
5. Дж. Чжао, Л. Ван, Дж. Тао и др., «Платформа безопасности в G-Hadoop для вычислений больших данных в распределенных облачных центрах обработки данных», Журнал компьютерных и системных наук, том 80, № 5, стр. 994–1007, 2014.
6. Ф. Джалаи, А. Джрейд и М. Нассири, «Интеграция системы поддержки принятия решений (DSS) и информационного моделирования зданий (BIM) для оптимизации выбора устойчивых компонентов здания», Журнал информационных технологий в строительстве, том 20, № 25, стр. 399–420, 2015.
7. А.Х. Оти и В. Тизани, «Расширение BIM для оценки устойчивости концептуального проектирования стальных конструкций», Advanced Engineering Informatics, том 29, № 1, стр. 28–46, 2015.
8. П. Иниим, Дж. Ривера и Ю. Чжу, «Интеграция информационного моделирования зданий и анализа воздействия на экономику и окружающую среду для поддержки устойчивого проектирования зданий», Журнал менеджмента в инженерии, том 31, № 1, 2015.
9. Х. Ван и П.Э.Д. Лав, «BIM + AR: обмен информацией на месте и коммуникация с помощью расширенной визуализации», в Материалах 16-й Международной конференции IEEE по совместной работе с компьютерной поддержкой в проектировании (CSCWD'12), стр. 850–855, Ухань, Китай, 2012.
10. М. Кокорус, У. Эйрич и Р. Захариас, «Инновационный подход к проектированию подстанции с использованием технологии информационного моделирования зданий (BIM)», в Материалах конференции и экспозиции IEEE / PES по передаче и распределению (TD16), стр. 1–5, Даллас, Техас, США, 2016.
11. М.Х. Давуд, «Оптимальная стоимость жизненного цикла каркаса устойчивого дома на основе BIM», в Материалах 3-й международной конференции MEC по большим данным и умному городу (ICBDSC'16), стр. 1–5, Маскат, Оман, 2016.
12. Д. Пасини, С.М. Вентура, С. Ринальди, П. Беллагенте, А. Фламмини и А.Л. Чирибини, «Использование Интернета вещей и построение фреймворка информационного моделирования для управления когнитивными зданиями», в Материалах Международной конференции IEEE по умным городам (ISC'16), стр. 1–6, Тренто, Италия, сентябрь 2016 г.
13. У. Чжу, Б. Эйнард, М. Бриконь, С. Реми и У. Ван, «Фреймворк для информационного моделирования интегрированного здания», в Материалах Международной конференции по-умному и устойчивому городу и большим данным (ICSSC'15), стр. 139–144, Шанхай, Китай, 2015.
14. У. Исидаг, «Шаблоны проектирования для сервис-ориентированных архитектур на основе BIM», Автоматизация в строительстве, том 25, стр. 59–71, 2012.

# БАЗЫ ДАННЫХ СОЖ: ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ, ОБУЧЕНИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

## DATABASES CUTTING FLUIDS: APPLICATIONS IN MANUFACTURING, EDUCATION AND AUTOMATION

**E. Pilipchuk  
O. Yagolnitzer**

*Summary.* This article discusses the feasibility and importance of creating and using databases for storing and searching cutting fluids by specified characteristics in the context of manufacturing, training, and automation. The benefits of such databases in optimizing cutting fluids use, inventory management, improving quality control, and meeting safety standards are shown. The possibilities for training and improving the skills of employees, as well as for developing training programs based on the created databases are described. Particular attention is paid to the integration of databases with manufacturing systems and process automation, which facilitates data analysis, forecasting, and decision support. The impact of database creation on the efficiency of manufacturing process management is also discussed.

*Keywords:* cutting fluid, a database, optimization, automation, production planning, data analysis, education.

**Пилипчук Екатерина Андреевна**  
аспирант, Московский государственный  
технологический университет «СТАНКИН»  
pilipchuk\_ekaterin@mail.ru

**Ягольницер Ольга Владимировна**  
кандидат технологических наук, доцент,  
Московский государственный  
технологический университет «СТАНКИН»  
olga.stankin@mail.ru

*Аннотация.* В данной статье рассматривается возможность и важность создания и использования баз данных для хранения и поиска смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) по заданным характеристикам в контексте производственного процесса, обучения и автоматизации. Показаны преимущества существования таких баз данных в оптимизации использования СОЖ, управлении запасами, улучшении контроля качества, а также соблюдении стандартов безопасности. Описаны возможности для обучения и повышения квалификации сотрудников, а также для разработки учебных программ на основе созданных баз данных. Особое внимание уделено интеграции баз данных с производственными системами и автоматизации процессов, что способствует анализу данных, прогнозированию и поддержке принятия решений. Также рассматривается влияние создание баз данных на эффективность управления производственными процессами.

*Ключевые слова:* смазочно-охлаждающая жидкость, база данных, оптимизация, автоматизация, планирование производства, анализ данных, обучение.

### Введение

В современном мире, где технологии и производственные процессы постоянно развиваются, одним из ключевых факторов успеха становится эффективное управление информацией. Системы смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) играют важную роль в различных производственных процессах, обеспечивая охлаждение, смазку и удаление отходов, в виде стружки и металлической пыли, при обработке материалов [2]. СОЖ, как правило, наносится на зону резания металлов и отлично вымывают стружку из рабочей зоны. К свойствам таких материалов относятся: значительная теплопоглощающая способность, антикоррозионные свойства, высокая температура воспламенения, хорошие смазывающие свойства, что уменьшает силу трения, хорошо сказывается на работоспособность и долговечность оборудования на производстве. Также такие материалы устойчивы к окислению на воздухе [4, 9]. Для эффективного управления и использования СОЖ необходимы надежные и функциональные базы данных.

### Оптимизация использования СОЖ

Одним из ключевых преимуществ использования баз данных для хранения информации о СОЖ является возможность оптимизации их использования [1]. А в общем это может включаться в оптимизацию производственных процессов, в том числе повышение эффективности производства и сокращению затрат. В производственных процессах, особенно на крупных предприятиях, используется множество различных видов СОЖ, каждая из которых имеет свои уникальные свойства и области применения. База данных позволяет систематизировать эту информацию, обеспечивая быстрый доступ к данным о составе, свойствах и применении каждой жидкости. Это помогает выбрать оптимальный тип СОЖ для конкретного процесса, что повышает эффективность и снижает затраты.

### Управление запасами и логистика

Эффективное управление запасами СОЖ (систем охлаждающе-смазочных жидкостей) является ключевой задачей для производственных предприятий, стремя-

щихся поддерживать непрерывность и эффективность своих процессов. Правильная организация этого процесса позволяет избежать простоев и непредвиденных затрат, связанных с нехваткой или избыточными запасами. Рассмотрим более подробно, как базы данных способствуют достижению этих целей.

*Учет текущих запасов.* Одной из основных функций базы данных является ведение учета текущих запасов СОЖ. В базе данных хранится информация о наличии каждого типа жидкости, ее объеме и состоянии. Это позволяет менеджерам в реальном времени отслеживать уровень запасов и своевременно реагировать на изменения. Например, если уровень запасов какого-либо вида СОЖ падает ниже определенного порога, система может автоматически уведомить ответственных сотрудников о необходимости пополнения.

*Планирование закупок.* Базы данных играют важную роль в планировании закупок СОЖ. Система может анализировать данные о расходе жидкостей на основании предыдущих периодов, учитывая сезонные колебания и особенности производственного процесса. Это позволяет более точно прогнозировать потребности и формировать заказы на закупку, избегая как дефицита, так и излишков. Кроме того, интеграция базы данных с системой управления закупками позволяет автоматизировать процесс создания и отправки заказов поставщикам, что существенно снижает трудозатраты и вероятность ошибок [6].

*Отслеживание срока годности.* СОЖ имеют ограниченный срок годности, после которого их эффективность может значительно снизиться. База данных помогает отслеживать срок годности каждой партии жидкостей, хранящейся на складе. Система может автоматически напоминать о необходимости использования или утилизации жидкостей с истекающим сроком годности. Это позволяет избежать использования просроченных материалов, что может негативно сказаться на качестве производственных процессов и конечной продукции.

*Минимизация издержек.* Эффективное управление запасами с использованием баз данных позволяет существенно снизить издержки. Во-первых, это уменьшает вероятность простоев производства из-за нехватки СОЖ, что может приводить к серьезным финансовым потерям. Во-вторых, оптимизация запасов позволяет снизить затраты на хранение и уменьшить риски, связанные с порчей или потерей материалов. В-третьих, автоматизация процессов управления запасами и закупками снижает трудозатраты и повышает общую эффективность управления ресурсами.

*Интеграция с логистическими системами.* Современные производственные предприятия используют

различные логистические системы для управления поставками, складированием и распределением материалов. Интеграция баз данных СОЖ с этими системами позволяет обеспечить непрерывный обмен информацией и синхронизацию данных. Это способствует более точному планированию и координации действий всех участников логистической цепочки, повышая общую эффективность и надежность поставок.

*Примеры внедрения.* Реальные примеры внедрения баз данных для управления запасами СОЖ на производственных предприятиях демонстрируют значительные улучшения в управлении запасами. Например, крупные машиностроительные компании, внедрившие системы автоматизированного учета и планирования закупок СОЖ, отмечают сокращение издержек на 15–20 % и снижение простоев на 30–40 %. Эти результаты подтверждают высокую эффективность использования баз данных в данной области [5].

Эффективное управление запасами и логистика с использованием баз данных СОЖ позволяют производственным предприятиям существенно повысить свою конкурентоспособность. Точные данные о запасах, автоматизация планирования закупок и отслеживание срока годности жидкостей способствуют непрерывности производства, снижению издержек и улучшению качества продукции. Интеграция с логистическими системами обеспечивает комплексный подход к управлению ресурсами и повышает общую эффективность предприятия.

### Контроль качества и безопасность

Использование баз данных также способствует улучшению контроля качества производственных процессов. Систематизированная информация о СОЖ позволяет проводить регулярные проверки и тестирования жидкостей, а также отслеживать их воздействие на качество продукции. Кроме того, базы данных помогают обеспечивать соблюдение стандартов безопасности и экологических норм, что особенно важно в условиях строгих законодательных требований [3, 10].

### Роль баз данных в обучении

*Доступ к знаниям и опыт.* Базы данных, содержащие информацию о СОЖ, являются ценным инструментом для обучения и повышения квалификации сотрудников. Они позволяют получить доступ к накопленным знаниям и опыту, что способствует более глубокому пониманию свойств и применения различных жидкостей. В результате специалисты могут принимать более обоснованные решения, что положительно сказывается на эффективности производственных процессов.

*Разработка учебных программ.* Использование баз данных также облегчает разработку и обновление учеб-

ных программ. На основе систематизированной информации о СОЖ можно создавать учебные материалы, проводить тренинги и семинары, что способствует более качественной подготовке кадров. Это особенно важно в условиях быстрого технологического прогресса, когда требования к знаниям и навыкам сотрудников постоянно меняются.

#### Автоматизация процессов с использованием баз данных

*Интеграция с производственными системами.* Современные производственные предприятия все чаще используют автоматизированные системы управления производственными процессами. Интеграция баз данных СОЖ с такими системами позволяет автоматизировать многие рутинные операции, связанные с управлением и использованием жидкостей. Например, можно настроить автоматическое уведомление о необходимости замены СОЖ или проведении регулярных проверок, что повышает общую эффективность и снижает вероятность ошибок [7].

*Анализ данных и прогнозирование.* Базы данных предоставляют широкие возможности для анализа и прогнозирования. Собранные данные о СОЖ можно использовать для проведения различных аналитических исследований, выявления тенденций и закономерностей. Это позволяет не только улучшать текущие производственные процессы, но и разрабатывать прогнозы

на будущее, что способствует более эффективному планированию и управлению ресурсами [11].

*Поддержка принятия решений.* Автоматизация процессов с использованием баз данных способствует более быстрому и обоснованному принятию решений. Системы на основе баз данных могут предоставлять рекомендации по выбору и использованию СОЖ, анализировать последствия различных решений и предлагать оптимальные варианты. Это особенно важно в условиях высокой конкуренции и необходимости оперативного реагирования на изменения в производственных процессах.

#### Заключение

Создание и использование баз данных для хранения и поиска СОЖ является важным элементом эффективного управления производственными процессами. Они способствуют оптимизации использования ресурсов, улучшению контроля качества и безопасности, повышению уровня подготовки кадров и автоматизации рутинных операций. В результате предприятия получают возможность более эффективно использовать свои ресурсы, снижать издержки и повышать качество продукции. В условиях современного производства, где информационные технологии играют ключевую роль, базы данных становятся незаменимым инструментом для достижения конкурентных преимуществ и устойчивого развития.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Худошина М.Ю., Бутримова О.В. Разработка комплексного критерия оценки вариантов экологически обоснованного выбора смазочно-охлаждающих технологических средств // Вестник МФЮА. 2012. №1.
2. Хамидуллова Л.Р., Васильев А.В. Классификация и комплексная оценка смазочно-охлаждающих жидкостей по степени воздействия на человека и биосферу // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №5–1.
3. Васильев А.В., Хамидуллова Л.Р. Воздействие смазывающих охлаждающих жидкостей в условиях предприятий машиностроения и методы его снижения // Изв. Самар. НЦ РАН. 2006. Т. 8, № 4. С. 1171–1176.
4. Бабаев Э.Р. Смазочно-охлаждающие жидкости: свойства и методы применения // Баш. хим. ж. 2022. №3.
5. Старикова Л.Н. Внедрение современных технологий для управления товарными запасами на торговых предприятиях // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2017. №4.
6. Самсонов В.С., Курмаев Р.А. Оптимизация работы промышленного склада // Известия МГТУ. 2014. №3 (21). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-raboty-promyshlennogo-sklada> (дата обращения: 18.06.2024).
7. Васильев А.В., Мельников П.А., Вильч Н.В., Бухонов В.О. Научные принципы и подходы к обеспечению экологически чистых и безопасных процессов, требующих использования смазочно-охлаждающих жидкостей // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. №6–2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchnye-printipy-i-podhody-k-obespecheniyu-ekologicheski-chistyh-i-bezopasnyh-protsesov-trebuyuschih-ispolzovaniya-smazочно-охлаждающих-жидкостей> (дата обращения: 21.06.2024).
8. Шолом А.В. Охлаждающие и триботехнические характеристики масляных смазочно-технологических жидкостей // Вестник УГАТУ. 2023. №2 (100).
9. Бабаев Э.Р. Применение смазочно-охлаждающих жидкостей в промышленных процессах // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2022. №4 (65).
10. Гребенишан Г., Наззал С. и Санда Б. «Мониторинг параметров смазочных материалов и сбор данных». Сеть конференций МАТЕС. Т. 184. EDP Sciences, 2018.
11. Вакиру Дж., Пинтелон Л., Мучири П. и Чемвено П.. «Интеллектуальный анализ данных для диагностики неисправностей на основе смазочных материалов». Журнал качества в техническом обслуживании 27, No 2 (2021): 264–291.

© Пилипчук Екатерина Андреевна (pilipchuk\_ekaterin@mail.ru); Ягольницер Ольга Владимировна (olga.stankin@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ ВИДОВ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИТ-СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ

## ANALYSIS OF TYPES AND CLASSIFICATION OF IT STRATEGIES FOR THE DEVELOPMENT OF ORGANIZATIONS

**A. Popov  
M. Tikhonov  
O. Shikula**

*Summary.* The article reveals the need for digitalization of business processes to improve the efficiency of modern companies, provides a brief analysis of the conceptual framework and existing approaches to classifying information technology strategies used by business organizations in the interests of ensuring sustainable development and achieving the required level of competitiveness of business entities. The author presents his own interpretation and classification of information technology strategies.

*Keywords:* information technology strategies, the essence of IT strategies, types of IT strategies, classification of IT strategies.

**Попов Александр Александрович**

кандидат военных наук, профессор,  
профессор, Национальный исследовательский  
университет «МИЭТ»

**Тихонов Мартин Робертович**

кандидат технических наук, доцент, Национальный  
исследовательский университет «МИЭТ»  
kurotenshi91@yandex.ru

**Шикова Ольга Сергеевна**

старший преподаватель, Национальный  
исследовательский университет «МИЭТ»  
oshik78@mail.ru

*Аннотация.* В статье раскрыта роль и необходимость цифровизации бизнес-процессов с целью повышения эффективности функционирования современных компаний, проведён краткий анализ понятийного аппарата и существующих подходов к классификации стратегий информационных технологий, используемых деловыми организациями в интересах обеспечения устойчивого развития и достижения требуемого уровня конкурентоспособности субъектов хозяйственной деятельности. Авторами представлена собственная трактовка и классификация стратегий информационных технологий.

*Ключевые слова:* стратегии информационных технологий, сущность ИТ-стратегий, виды ИТ-стратегий, классификация ИТ-стратегий.

Реалии современной жизни всё убедительнее свидетельствуют о трансформации постиндустриального общества и экономики в эпоху цифровизации, основу которой составляют передовые информационные технологии. Поэтому внедрение информационных технологий сегодня является одним из ключевых этапов развития подавляющего большинства организаций.

Внедрение и умелое использование на предприятиях информационных технологий позволяет автоматизировать процессы, существенно повысить эффективность их деятельности, что выражается в улучшении качества обслуживания населения, увеличении прибыли, сокращении производственных и иных затрат, завоевании лидирующих конкурентных позиций на рынке. При этом важная роль отводится формированию и реализации действенной стратегии информационных технологий (ИТ- или ИТ-стратегии), которая должна ориентироваться на достижение поставленных организацией целей.

В настоящее время уже сложилось определённое понимание сущности ИТ-стратегий как научной категории, однако вопрос, касающийся видов и классификации этих стратегий, остаётся пока открытым, так как в данном аспекте существует огромный разброс мнений специалистов.

В частности, А.В. Михайлов предлагает рассматривать следующие виды (список типовых тематик) ИТ-стратегий: консолидации; импортозамещения; создания цифровой платформы бизнеса; информатизации бизнес-процессов; цифровой трансформации бизнеса; развития инфраструктуры ИТ; развития ИТ-сервисов; развития ИТ-процессов и др. [1].

Безусловно, эти стратегии имеют право на существование, однако они отражают только специфические аспекты развития архитектуры предприятия, то есть не учитывают его масштабы деятельности, фактическое состояние (например, фирма может интегрироваться с другими компаниями, диверсифицировать свою деятельность, находиться в предкризисном или кризисном состоянии и т.д.), возможности деловой организации, её стратегическую политику в целом.

Ф. Краснов на основе анализа мнений ИТ-директоров выделяет три достаточно распространённых типа стратегий [2]:

ИТ-стратегию «аккуратных библиотекарей», основанную на жесткой регламентации применения существующих информационных технологий;

ИТ-стратегию экономии на издержках, связанных с использованием информационных технологий;

ИТ-стратегию наращивания капитализации, базирующуюся на необходимости внедрения дорогостоящих информационных систем.

Правда, по мнению Ф. Краснова, эти ИТ-стратегии не способствуют развитию информационных технологий, хотя могут соответствовать целевым ориентирам компании, поэтому применение таких стратегий неэффективно.

Солозобов О.А. рассматривает ИТ-стратегию, как документ, включающий миссию, цели, задачи, способы и ресурсы для развития в компании ИТ-инфраструктуры, ИТ-службы и ИТ-проектов. При этом в зависимости от размеров и уровня развития предприятий он выделяет три основных вида ИТ-стратегий: минимальную (краткую) стратегию; среднюю стратегию; максимальную (подробную) стратегию.

Такое представление ИТ-стратегий не позволяет, на наш взгляд, понять без дальнейшей конкретизации структуры и содержания рассматриваемого документа их сущность. Иными словами, при этом документально представлен алгоритм разработки конкретной стратегии, но её видовая формулировка фактически отсутствует.

Документальное представление или детальный план информатизации является, скорее всего, конечным продуктом планирования будущей деятельности компании, которое должно базироваться на чётко сформулированных миссии, целях и стратегиях, в том числе и ИТ-стратегиях, её развития. Кроме того, виды ИТ-стратегий, классифицированные по объёмно-временному признаку их разработки, никак не увязаны с общей и функциональными стратегиями развития компании.

Достаточную известность в области информатизации приобрели сегодня и такие (основные) подходы к разработке ИТ-стратегий компании, как [3,4]:

- отсутствие ИТ-стратегии или концепции;
- ИТ-стратегия планирования технических и программных средств;
- ИТ-стратегия «авангардизма»;
- ИТ-стратегия, ориентированная на ключевые факторы успеха;
- ИТ-стратегия, определяемая стратегией бизнеса;
- ИТ-стратегия «выравнивания» со стратегией бизнеса и др.

Проблема реализации данных специфических ИТ-стратегий состоит в том, что они фактически автономны, то есть не привязаны к периодически изменяющимся целям и общей стратегии развития компании.

Отметим также, что, например, в компании «КОРУС Консалтинг» выделяют 3 основных вида ИТ-стратегий [5]:

- полной замены или создания ИТ-инфраструктуры с «нуля»;
- цифровизации одного или нескольких направлений бизнеса;
- оптимизации существующей ИТ-инфраструктуры.

Это достаточно конкретное представление разновидностей ИТ-стратегий, однако оно не учитывает всего многообразия стратегий цифровизации фирмы. Например, реализация специфических стратегий может носить комплексный характер, то есть речь идёт о комплексном применении предлагаемых ИТ-стратегий в интересах цифровизации архитектуры предприятия.

Широкий разброс мнений о трактовке ИТ-стратегий не позволяет в полной мере уяснить их сущность и содержание, роль и место этих стратегий на основе видовых и иных, не противоречащих друг другу признаков, применяемых в современной концепции стратегического менеджмента.

В настоящее время существует два специфических подхода к пониманию ИТ-стратегии как научной категории.

При первом подходе такая стратегия рассматривается как детальный план внедрения и развития на предприятии информационных технологий, направленных на достижение определённых целей, что находит своё выражение в разработке формализованного документа, например, в форме проекта, программы, плана миграции.

Второй подход рассматривает ИТ-стратегию не как строго формализованный и конкретный план действий, а как определённое направление развития (концепцию, включающую политику, совокупность принципов и правил организационного характера) предприятия в сфере информационных технологий, формулируемое в достаточно общих выражениях. Такая формулировка стратегии не требует значительных временных и иных затрат ресурсов, и, в зависимости от изменений условий (появления новых, в том числе и непредвиденных обстоятельств) функционирования организации, может быть быстро скорректирована в интересах обеспечения уточнённых целей и достижения требуемого уровня конкурентоспособности компании.

Появление новых непредвиденных обстоятельств может не только открыть новые возможности и стратегические перспективы развития для улучшения хозяйственной деятельности предприятия, но и заставить его отказаться от первоначально выбранной политики и плана действий.

В настоящее время ИТ-стратегия чаще всего ассоциируется с разработкой подробного плана действий в сфе-

ре цифровизации предприятий, однако между стратегией и планом можно выделить, на наш взгляд, несколько принципиальных отличий;

- план — это разработанный документ, в котором детально отражаются основные мероприятия, сроки их реализации, выделяемые ресурсы и ответственные исполнители, а стратегия — это сформулированная концепция, в которой излагаются ключевые принципы (правила), набор ориентиров и управленческих решений, направленных на достижение целей организации;
- формулирование стратегии лежит в основе разработки плана, предшествует ему, при этом создание плана является, своего рода, целью разработки стратегии;
- стратегия определяет целесообразные перспективные направления действий компании и не имеет жёстких временных рамок, а план предполагает выполнение мероприятий в строго установленные временные интервалы;
- если в плане действий необходимо ответить на вопрос, что следует сделать в интересах достижения поставленной цели, то при формулировании стратегии важно чётко определить, каким из возможных способов и каким образом организация будет идти к намеченной цели.

Таким образом, ИТ-стратегию можно определить как концепцию предполагаемого плана действий, направ-

ленную на создание и развитие информационных технологий в организации с целью повышения эффективности её функционирования. Она показывает направление развития ИТ-систем в соответствии с целями, задачами и стратегией развития компании, а также определяет, каким образом может быть реализована эта стратегия в аспекте ведения бизнес-процессов.

ИТ-стратегия не должна содержать излишних подробностей технологического характера, так как она предназначена не только для специалистов по информационным технологиям, но и ко всем причастным к разработке и реализации стратегии должностным лицам организации, включая её руководство.

Технические детали, организационные процедуры и спецификации элементов инфраструктуры, необходимые для разработки и реализации ИТ-стратегий, должны содержаться в соответствующих проектах, программах и планах развития ИТ-инфраструктуры предприятия.

По классификации стратегического менеджмента ИТ-стратегии относятся к функциональным стратегиям, роль которых заключается в ИТ-поддержке общей и деловой (конкурентной) стратегий развития организации, а также в обеспечении бизнес-процессов или функциональных направлений ведения бизнеса (инновационная деятельность, производство, коммерция, маркетинг, финансы, сервисное обслуживание, управление персоналом и пр.).

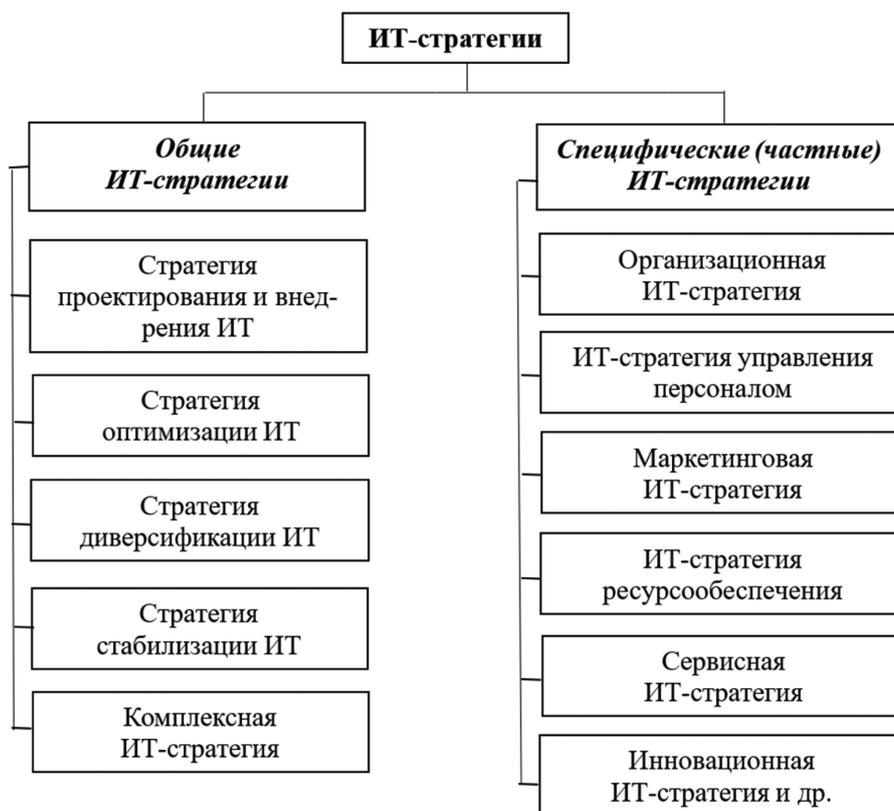


Рис. 1. Классификация ИТ-стратегий

Поэтому ИТ-стратегии целесообразно классифицировать на общие и частные (специфические) стратегии (рис. 1).

Общие ИТ-стратегии охватывают все ключевые элементы и сферы компетенции инфраструктуры предприятия (архитектуру информации и приложений, а также технологическую архитектуру) и направлены на создание, развитие и поддержание системной архитектуры в состоянии, обеспечивающем требуемый уровень реализации бизнес-процессов в организации.

К общим ИТ-стратегиям, на наш взгляд, следует отнести:

Стратегию проектирования и внедрения информационных технологий (создание ИТ-инфраструктуры «с нуля»), целью которой является принятие ключевых решений по разработке проекта и созданию на предприятии системной архитектуры для повышения конкурентоспособности бизнес-процессов.

В аспекте проектирования системной архитектуры данная стратегия должна учитывать:

- политику организации (принципы, миссию и цели организации, видение архитектуры предприятия, стратегию её развития на долгосрочную перспективу, критические факторы успеха и т.п.);
- организационный дизайн;
- особенности протекания деловых процессов (бизнес-процессов) и др.

Создание ИТ-инфраструктуры «с нуля» может осуществляться:

- силами самой организации при наличии или включении в её штат профильных специалистов, обладающих достаточными компетенциями и способных самостоятельно реализовать данную стратегию;
- силами профильной организации, привлекаемой со стороны, и имеющей опыт проектирования и создания ИТ-инфраструктуры;
- совместными усилиями сотрудников предприятия с привлечением отдельных профильных специалистов со стороны.

Стратегия создания ИТ-инфраструктуры «с нуля» может осуществляться путём приобретения на рынке и внедрения готовых информационных технологий (программных продуктов) посредством реализации следующих субстратегий:

- постепенного (поэтапного) внедрения отдельных компонентов информационных технологий (при отсутствии достаточных инвестиций на проектирование и создание полноценной технологической инфраструктуры). При этом основные усилия компании после разработки ИТ-проекта

сосредоточиваются на цифровизации ключевых процессов ведения бизнеса. Такая субстратегия применима для любых компаний. При этом организации развиваются постепенно, внедряя новые технологии.

Поэтапное внедрение ИТ-систем позволяет компаниям распределять связанные с этим затраты на более длительные сроки, что с точки зрения экономической выгоды может быть более оправданным действием. Кроме того, поэтапные действия позволяют выявлять и устранять возникающие проблемы на ранних стадиях реализации ИТ-проекта, что обеспечивает снижение некоторых рисков для бизнеса;

- оперативного внедрения спроектированной системной архитектуры в полном объёме и сразу (в форме одноразовой акции). Применение данной субстратегии может потребовать от компаний первоначального вложения существенных инвестиций, поэтому данная субстратегия используется гораздо реже предыдущей и в большей мере целесообразна к применению крупными и, в меньшей мере — средними компаниями.

Данный подход позволяет организации достичь существенных конкурентных преимуществ путём быстрого и резкого развития собственных ИТ-систем и процессов. Благодаря этому организация может занять лидирующие позиции на рынке, используя новейшие технологии быть впереди своих конкурентов;

Стратегию оптимизации информационных технологий, осуществляемой с целью дальнейшего совершенствования существующей системной инфраструктуры предприятия и повышения эффективности одного или нескольких направлений его бизнеса (бизнес-процессов).

Необходимость использования данной ИТ-стратегии обусловлена изменчивостью среды функционирования организации и появлением на рынке более совершенных информационных технологий, позволяющих обеспечивать требуемый уровень конкурентоспособности, занятие лидирующих позиций на рынке.

При этом каждый последующий шаг внедрения более совершенных информационных технологий реализуется на базе уже существующих достижений.

Оптимизация предусматривает выбор одного или одновременно нескольких направлений действий:

- совершенствование (оптимизация, модернизация) компонентов архитектуры данных (например, баз и хранилищ данных, систем управления ими или средств санкционированного доступа данных и др.);

- совершенствование компонентов архитектуры приложений, которое может предусматривать оптимизацию портфеля прикладных систем предприятия и области применения этих систем;
- оптимизацию технологической архитектуры, в рамках которой могут обновляться сервисы данных и безопасности, сетевые и прикладные сервисы, промежуточное программное обеспечение, вычислительная инфраструктура и т. п.

В целом, стратегия оптимизации является достаточно эффективным подходом к постоянному совершенствованию применяемых на предприятии информационных технологий, позволяет минимизировать риски и неуклонно повышать адаптивность и качество ИТ-системы;

Стратегию диверсификации информационных технологий, целью которой является обеспечение новых направлений ведения бизнеса предприятия компонентами системной архитектуры. Это обусловлено расширением масштабов деятельности компании за счёт вхождения её в новые отрасли путём поглощения или покупки других фирм, либо создания новых хозяйственных подразделений с нуля, либо путём создания совместных предприятий.

Реализация данной стратегии потребует разработки специального проекта, позволяющего интегрировать новые бизнес-направления в общую ИТ-инфраструктуру компании, а также значительных финансовых вложений. Однако в перспективе эти усилия позволят улучшить конкурентные позиции, добиться повышения эффективности функционирования компании;

Стратегию стабилизации информационных технологий, которая реализуется в условиях, когда компания нуждается в сокращении затрат, осуществляет долгосрочное изменение границ ведения бизнеса в период спада экономики, находится в кризисной ситуации и т. п.

Возможными путями реализации данной стратегии являются:

- поиск возможностей сокращения издержек на содержание информационных технологий;
- ликвидация некоторых ИТ-систем и процессов в связи, например, с продажей отдельных направлений бизнеса, не соответствующих стратегическим целям организации;
- утилизация неэффективных компонентов системной инфраструктуры с целью последующей их замены.

Существуют и другие ситуации, когда целесообразно применение стратегии стабилизации информационных технологий;

Комплексную (смешанную) ИТ-стратегию, цель которой может заключаться в создании интегрированной ИТ-системы (например, на базе единого интерфейса), эффективно поддерживающей многие или все бизнес-процессы организации.

Такая стратегия подразумевает одновременное внедрение нескольких компонентов системной инфраструктуры. При необходимости компания может осуществить полную замену существующей инфраструктуры на более перспективную информационную технологию. Поэтому комплексная стратегия целесообразна к применению, когда имеющаяся инфраструктура не в полной мере охватывает существующие бизнес-процессы либо устарела и перестала соответствовать возрастающим требованиям организации.

Таким образом, данная стратегия более эффективна с позиции оптимизации бизнес-процессов, однако для её реализации требуются значительные инвестиции.

Рассмотренные ИТ-стратегии хорошо коррелируют с корпоративными и общими (эталонными) стратегиями развития бизнеса [6].

Так, для общих стратегий узкоспециализированных фирм в качестве стратегий ИТ-поддержки могут, например, применяться:

- для группы стратегий концентрированного роста: стратегии создания ИТ-инфраструктуры «с нуля» или оптимизации информационных технологий;
- для группы стратегий интегрированного роста: стратегия оптимизации информационных технологий или комплексная ИТ-стратегия;
- для группы стратегий диверсифицированного роста: стратегии оптимизации или диверсификации информационных технологий, либо комплексная ИТ-стратегия;
- для группы стратегий сокращения: стратегия стабилизации информационных технологий.

Такую же аналогию (с позиции ИТ-поддержки) можно привести и для корпоративных стратегий, характерных для многопрофильных компаний, и предусматривающих:

- широко распространённые способы диверсификации (стратегии вхождения в новую отрасль; стратегии диверсификации в родственные и неродственные отрасли);
- стратегии для усиления позиций диверсифицированных компаний (свёртывания и ликвидации бизнеса; реструктуризации, восстановления и экономики; многонациональной диверсификации).

Специфические ИТ-стратегии направлены на формирование и развитие различных элементов системной архитектуры и хозяйственной деятельности предприятия.

Они отражают цели, принципы и решения по ИТ-поддержке конкретных функциональных направлений деятельности компании (исследования и разработки, производство, маркетинг, кадры или управление персоналом, инновации, финансы, ресурсообеспечение и др.) и предназначены для повышения эффективности управления бизнес-процессами, реализуемыми на предприятии.

Специфические ИТ-стратегии во избежание проблемных ситуаций должны быть жёстко увязаны с соответствующими функциональными стратегиями компании.

Поэтому, формируя ИТ-стратегию, целесообразно уяснить:

- существующее состояние системной инфраструктуры компании;
- цели и задачи ИТ-инфраструктуры;
- инструменты, позволяющие достигнуть эти цели;
- критерии оценки ИТ-стратегии.

В настоящее время существует множество методологий (нотаций), применяемых для описания и моде-

лирования бизнес-процессов. Поэтому ключевая роль в определении и рациональном использовании ИТ-стратегий должна отводиться специалистам в сфере информационных технологий.

Таким образом, ИТ-стратегии, являясь функциональными, обеспечивают ИТ-поддержку остальных видов стратегий (корпоративных или эталонных, деловых, функциональных и др.), и не являются строгим описанием алгоритма системной архитектуры предприятия. Они определяют направления развития информационных технологий и рациональные способы их реализации в соответствии с целями, задачами и бизнес-стратегиями предприятия.

Следует отметить, что представленные в данной статье трактовка и классификация ИТ-стратегий являются лишь субъективным мнением её авторов и могут служить для продолжения дальнейших дискуссий по рассматриваемой проблеме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А.Г. Формализованная ИТ-стратегия [электрон. рес.]. URL: <https://studfile.net/preview/8598517/page:4/> (дата обращения 20.06.2024).
2. Краснов Ф. ИТ-стратегия: разработка или описание? // «Директор Информационной Службы» №9: [электрон. журн.], 2008. URL: [osp.ru/cio/archive/2008/09](http://osp.ru/cio/archive/2008/09) (дата обращения 24.06.2024).
3. Михайлов А.Г. Семь подходов к разработке ИТ-стратегий // «Директор Информационной Службы» №2: [электрон. журн.], 2004. — С. 48–52. URL: [osp.ru/cio/archive/2004/02](http://osp.ru/cio/archive/2004/02) (дата обращения 20.06.2024).
4. Матвеев И.А. ИТ-стратегии в менеджменте организации: концепции и проблемы развития // Вестник Санкт-Петербургского университета №4, 2005. — С. 81–99.
5. Зачем бизнесу разрабатывать ИТ-стратегию: стратегический подход. URL: <https://korusconsulting.ru/infohub/zachem-biznesu-razrabatyvat-it-strategiyu/> (дата обращения 24.06.2024).
6. Панкова Т.А., Попов А.А. Стратегический менеджмент: учебное пособие. — Оренбург: ГУ «РЦРО», 2010. — 373 с.

© Попов Александр Александрович; Тихонов Мартин Робертович ([kurotenshi91@yandex.ru](mailto:kurotenshi91@yandex.ru));  
Шикун Ольга Сергеевна ([oshik78@mail.ru](mailto:oshik78@mail.ru))  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОПТИМИЗАЦИЯ КРОССБРАУЗЕРНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОПОСЕЩАЕМЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

## OPTIMIZATION OF CROSS-BROWSER EFFICIENCY OF HIGHLY VISITED WEB APPLICATIONS

*A. Prisyazhnyy*

*Summary.* The constantly evolving landscape of web technologies and the need to support older browsers for accessibility to all possible users poses serious challenges for the engineering community to provide universal support in various browsers. Given that not all modern Internet users access the Internet from the latest browsers, applications may have problems with cross-browser compatibility. Experimental data suggest that the ES6 specification of the JavaScript language, published in 2015, on average offers better execution speed in modern browsers compared to its predecessors, but not all browsers used natively support it. This article examines different ways to achieve a compromise between optimal site performance and cross-browser support. The value of the presented work lies in the fact that the author offers a unique practical guide on configuring the transpilation of a web application to achieve maximum cross-browser compatibility and support for outdated browsers.

*Keywords:* optimization of web applications, transpilation, cross-browser compatibility, support for outdated browsers.

*Присяжный Александр Олегович*

*Старший инженер-программист,  
Челябинский Государственный Университет;  
ООО «Тасит Ноледж Латин Америка»  
a.prisazhny@yandex.ru*

*Аннотация.* Постоянно развивающийся ландшафт веб-технологий и необходимость поддерживать старые браузеры для доступности всем возможным пользователям ставит инженерному сообществу серьезные задачи по обеспечению универсальной поддержки в различных браузерах. Учитывая, что не все современные интернет-пользователи выходят в интернет с новейших браузеров, у приложений могут возникать проблемы кроссбраузерной совместимости. Экспериментальные данные говорят о том, что изданная в 2015 году спецификация ES6 языка JavaScript в среднем предлагает лучшую скорость выполнения в современных браузерах по сравнению с её предшественниками, но не все используемые браузеры нативно ее поддерживают. Данная статья рассматривает разные способы достижения компромисса между оптимальной производительностью сайта и кроссбраузерной поддержкой. Ценность представленной работы состоит в том, что автором предлагается уникальное практическое руководство по настройке транспиляции веб-приложения для достижения максимальной кроссбраузерной совместимости и поддержки устаревших браузеров.

*Ключевые слова:* оптимизация веб-приложений, транспиляция, кроссбраузерная совместимость, поддержка устаревших браузеров.

### Введение

С развитием веб-технологий стало очевидно, что поддержка веб-приложений представляет собой одну из наиболее сложных задач в области разработки. В отличие от стандартных приложений, предназначенных для конкретных операционных систем, веб-приложения должны быть доступными для широкого круга пользователей независимо от их используемой операционной системы или браузера.

Традиционные приложения, устанавливаемые на компьютеры или мобильные устройства, часто разрабатываются с учетом конкретной операционной системы, что делает их оптимизацию и тестирование относительно предсказуемыми. Веб-приложения же сталкиваются с гораздо большим разнообразием переменных, таких как разные версии браузеров, различные разрешения экранов и разнообразные настройки пользовательских устройств. Эти особенности делают задачу поддержки веб-приложений особенно актуальной и сложной.

Основное предназначение веб-приложений — предоставление одинакового уровня сервиса для всех

пользователей. Это означает, что разработчики должны уделять особое внимание тому, чтобы приложение было не только функциональным, но и корректно работало в разных браузерах и на разных устройствах. Современные средства автоматизации сборки позволяют решать эту проблему с помощью полифилов и транспиляции, но в результате мы получаем несколько более тяжелую и медленную в исполнении сборку.

### Результаты и обсуждение

*Архитектура браузеров и совместимость.*

На текущий момент рынок браузеров проходит этап доминирования браузера Google Chrome с его JavaScript-движком V8 [1, с. 232]. Этот факт облегчает поддержку для разработчиков, так как большинство современных браузеров, а также Node.js — универсальная платформа для JavaScript — строится на основе этого движка, что обеспечивает высокую степень совместимости JavaScript-приложений.

Несмотря на преобладание браузеров на основе Chromium среди современных браузеров, некоторые известные браузеры используют собственные, уникаль-

ные движки для обработки и отображения веб-контента [3]. Эти движки могут интерпретировать и выполнять код по-разному, что порой приводит к различиям в отображении и функционировании веб-сайтов. Разработчикам важно понимать эти различия и учитывать их при создании кросс-браузерных приложений.

Одним из ключевых преимуществ большинства браузеров является их обратная совместимость [4]. Это означает, что если определенная функция языка поддержана в определенной версии браузера, то она будет поддерживаться и в последующих версиях. Такой подход несколько упрощает задачу разработчикам, но требует также знания об устаревших функциях и технологиях.

Использование старых версий JavaScript может казаться привлекательным решением для достижения максимальной совместимости, однако такой подход не лишен недостатков. С одной стороны, это гарантирует работу приложения на большинстве устройств, но с другой стороны, это может привести к увеличению объема кода, повышению времени загрузки, увеличению расходов мобильного трафика, замедлению работы приложения и ухудшению пользовательского опыта.

#### *Методы обеспечения совместимости.*

ES6 — это спецификация языка JavaScript 2015 года, вторая большая его ревизия — которая в среднем предлагает более быструю скорость в современных браузерах [5], которая представила множество современных функций в языке [6] и поддерживается подавляющим большинством используемых браузеров.

JavaScript спецификации ES6 полностью поддерживается 95,4 % по глобальной статистике browserslist [7, с. 212]. Также в разделе preset-env документации транспилятора Babel можно посмотреть какие именно функции языка поддерживаются в разных его спецификациях, откуда видно, что спецификация ES6 привнесла наибольшее количество функций в язык JavaScript в сравнении со всеми остальными, поэтому, с учетом глобальной статистики использования браузеров с поддержкой ES6, разделение поддержки веб-приложения по этой спецификации имеет наибольший смысл.

— Первый метод обеспечения совместимости заключается в полной транспиляции приложения в устаревшую версию JavaScript. Это можно грубо сравнить с установкой приложения, предназначенного для старой версии операционной системы, на новое устройство. Хотя такой подход обеспечивает более широкую совместимость, и поэтому является выбором большинства веб-приложений с большим посещением, он имеет определенные недостатки, такие как увеличенный объем кода и замедленное выполнение;

— Второй метод не вполне помогает достичь универсальной совместимости, но это один из путей, который выбирают многие команды, разрабатывающие веб-приложения. Он заключается в полном отказе от поддержки устаревших браузеров. Это может быть обосновано статистикой, где большинство выходят в сеть через браузеры современных версий, нативно поддерживающих ES6. На момент написания статьи это 95,4% по глобальной статистике browserslist [7, с. 211]. Локальная статистика может отличаться. Например, browserslist уведомляет что в России спецификация ES6 поддерживается лишь 80,3% процентами посетителей, т. е. для каждого пятого пользователя региона, веб-приложение будет работать некорректно [8]. Такой компромисс для веб-приложений с высокой посещаемостью недопустим, поскольку лишает их заметной доли интернет-трафика и, как следствие, предположительно столь же заметной доли прибыли.

Такой подход может исключить определенную часть пользовательской аудитории, особенно в регионах с большей долей использования устаревших браузеров или в корпоративном секторе, где корпоративный регламент диктует использование браузера с устаревшей версией движка JavaScript;

— Третий метод был сформулирован в ходе исследования. Он, возможно, самый оптимальный, но требует больше работы со стороны разработчиков. Он включает в себя сборку двух разных пакетов кода: одного для современных браузеров и другого для устаревших. В зависимости от браузера пользователя загружается и исполняется соответствующий пакет. Это обеспечивает быстрое действие и современные возможности для большинства пользователей, а также гарантирует работоспособность сайта для тех, кто использует старые браузеры.

Из недостатков этого метода следует отметить, что в устаревших браузерах запустится только устаревшая сборка, но загружена будет и устаревшая, и современная. Этот компромисс заденет небольшую часть аудитории, предоставив подавляющему большинству пользователей лучший опыт в сравнении с другими подходами, сохраняя поддержку всех пользователей.

Третий метод — создание двойной сборки — является оптимальным для веб-приложений с высокой посещаемостью, поскольку предлагает современным браузерам легкую и современную сборку приложения, при этом, поддерживая устаревшие браузеры сборкой с устаревшим же JavaScript.

Описание конфигурации.

В ходе исследования был выявлен способ достижения такой конфигурации, основывающийся на нескольких инструментах, повсеместно используемых в современных веб-приложениях:

- Сборщик Webpack;
- Транспилатор Babel;
- Файл управления версиями и регистрации зависимостей проекта `package.json`;
- Webpack-плагин `HtmlWebpackPlugin`;
- Встроенная в браузер поддержка разделения современных и устаревших скриптов документах.

Поскольку большинство современных веб-приложений используют одинаковые инструменты создания и сборки проекта, предположим, что проект иницирован с помощью NPM и что он уже использует Webpack, HtmlWebpackPlugin и Babel для создания сборки [9, с. 117]. Для того чтобы использовать Webpack и Babel для создания двух различных сборок — одну для современных браузеров и другую для старых браузеров — необходимо следовать нижеуказанным шагам. На рис. 1 схематично изображен процесс создания двойной сборки.

1. В файле `webpack.config.js` получить доступ к аргументам, считывая параметр argv в функции, возвращающей конфигурацию проекта. Это пригодится далее для проверок на то, какая версия сборки запущена в конкретный момент.
2. Ниже, в поле конфигурации `output`, означающем куда Webpack будет выводить сборки, проверить, равно ли поле argv.mode строке `modern`. Если равно, значит это современная сборка, задать имя файла современной сборки (например, `modern.js`), а если нет — указать имя устаревшей сборки (например, `legacy.js`). Этот шаг определяет название и расположение соответствующего варианта сборки.
3. Далее, в разделе загрузчиков, среди загрузчиков для файлов с расширением `js` найти `babel-loader` и сконфигурируйте для него пресет `@babel/preset-env` таким образом, чтобы там было поле `target`, а его значение снова зависело от поля

argv.mode. Если оно равно строке `modern`, то передаем значение `{esmodules: true}`, что гарантирует, что Babel будет транспилировать код для современных браузеров, которые поддерживают ES6-модули. Если не равно — передаем `{ie: "11"}`, чтобы включить в сборку функции, которые поддерживались бы устаревшими браузерами.

4. В файле `package.json` добавить три новых скрипта: "build:modern" со значением `webpack --mode modern` и `build:legacy` со значением `webpack --mode legacy`. Этот шаг нужен для разделения процессов современной и устаревшей сборки. Именно здесь мы определяем аргумент mode, на который мы опираемся для определения имени файла сборки и определения состава сборки в предыдущих трёх шагах. Также добавить скрипт `build`, который последовательно запустит другие два — `npm run build:modern && npm run build:legacy`.
5. В итоге требуется добавить полученные файлы в `index.html`. Для этого, либо вручную добавьте туда строки `

```

<!-- Начало HTML-документа -->

<%= htmlWebpackPlugin.files.js.map(js => {
  if (js.endsWith('modern.js')) {
    return `
```

— удобство для разработчиков. Оптимизация кроссбраузерной эффективности может также упростить разработку и поддержку веб-сайтов и приложений, так как разработчику необходимо будет уделять меньше времени исправлению ошибок и приведению кода в соответствие с различными браузерами. В целом, оптимизация кроссбраузерной эффективности позволяет достичь более высокой производительности и удовлетворенности пользователей, что, в конечном счете, может привести к увеличению прибыли и успеху вашего веб-сайта или приложения.

Используя комбинацию инструментов, таких как Webpack, Babel, и HtmlWebpackPlugin, разработчики могут эффективно строить и поддерживать обе версии своих приложений. Помимо прочего, была учтена особенность нативной поддержки такого разделения браузером Safari 10.1 и применено решения для обеспечения и его поддержки. Таким образом, несмотря на некоторые сложности, данная стратегия представляет собой оптимальный выбор для большинства современных веб-приложений с высокой посещаемостью, стремящихся к предоставлению лучшего пользовательского опыта посетителям с любыми известными браузерами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Варданян В.Г. Методы оптимизации программ на языке JavaScript, основанные на статистике выполнения программы / В.Г. Варданян // Труды Института системного программирования РАН. — 2016. — Т. 28, № 1. — С. 5–20. — DOI 10.15514/ISPRAS-2016–28(1)–1. — EDN WAPNKT.
2. Движок JavaScript / [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Движок\\_JavaScript](https://ru.wikipedia.org/wiki/Движок_JavaScript) (дата обращения: 12.09.2023).
3. Денисова Н.Н. Оптимизация информационной системы «Аргументатор стоимости» / Н.Н. Денисова, Е.П. Мельник, Т.В. Тюпикова // Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем (АМУР-2022): сборник научных трудов XVI Международной школы-симпозиума АМУР-2022, Симферополь–Судак, 14–27 сентября 2022 года. — Симферополь: Индивидуальный предприниматель Корниенко Андрей Анатольевич, 2022. — С. 139–144. — EDN PQLMWY.
4. Кайл Симпсон. You Don't Know JS / [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/getify/You-Dont-Know-JS/blob/2nd-ed/get-started/ch1.md#backwards-forwards> (дата обращения: 12.09.2023).
5. Красильников И.С. Методы оптимизации и повышения скорости работы клиентской части веб-приложения / И.С. Красильников // Научные труды магистрантов и аспирантов: Сборник научных трудов / Отв. редактор Д.А. Погонишев. Том Выпуск 17. — Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2020. — С. 174–178. — EDN DOGVCH.
6. Летон Г. Исследование методологии оптимизации рендеринга компонентов на примере Svelte / Г. Летон, П.Е. Глазко // XI Конгресс молодых учёных: Сборник научных трудов, Санкт-Петербург, 04–08 апреля 2022 года. — Санкт-Петербург: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», 2022. — С. 231–234. — EDN TJCBNX.
7. Мельников М.О. Оптимизация Django веб-приложений с помощью пулера соединений rjbouncer / М.О. Мельников // Системы управления, сложные системы: моделирование, устойчивость, стабилизация, интеллектуальные технологии: материалы VII Международной научно-практической конференции, Елец, 22–23 апреля 2021 года. — Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2021. — С. 211–214. — EDN GCRRGE.
8. Шенгелия А.Р. Веб-аналитика как инструмент повышения эффективности бизнеса / А.Р. Шенгелия, А.Н. Норкина // Финансовая безопасность. Современное состояние и перспективы развития: Материалы VIII Международной научно-практической конференции Международного сетевого института в сфере ПОД/ФТ, Москва, 14–15 декабря 2022 года. Том 1. — Москва: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2022. — С. 116–121. — EDN EWWLSA.
9. Node.js / [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Node.js> (дата обращения: 12.09.2023).
10. Robert Dempsey. ES5 vs ES6+ JavaScript Performance Comparisons / [Электронный ресурс]. URL: <https://medium.com/javascript-in-plain-english/es5-vs-es6-performance-comparisons-c3606a241633> (дата обращения: 12.09.2023).
11. Statcounter Global Stats. Browser Market Share Worldwide / [Электронный ресурс]. URL: <https://gs.statcounter.com/browser-market-share> (дата обращения: 12.09.2023).

© Присяжный Александр Олегович (a.prisazhny@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР: ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

## LITERATURE REVIEW: APPLICATION OF AUTOMATED DIGITAL PRODUCTION SYSTEMS BASED ON DIGITAL TWINS

**Sultan Nebras  
V. Petrov**

*Summary.* The article examines the concept of digital twins and their role in facilitating the introduction of automation into production processes and highlights the opinions of prominent scientists studying digital twin technologies. This article presents a literary review of the application of automated production systems based on digital twins. The concept of digital twins, involving the creation of virtual copies of physical objects, has attracted considerable attention in various industries, including industry. This literature review examines how digital twins are used to improve the efficiency, accuracy and productivity of industrial processes at the current stage of the development of science and technology. The paper highlights the advantages and problems associated with the implementation of the studied automated systems.

*Keywords:* digital twin, modeling, analysis, models, controls, systems, automation.

**Султан Небрас**

аспирант, Московский государственный  
технологический университет «СТАНКИН»  
nebras.sultan88@gmail.com

**Петров Валерий Евгеньевич**

кандидат технических наук, доцент, преподаватель,  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»  
sv58@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассматривается концепция цифровых двойников и их роль в содействии внедрению автоматизации в производственные процессы, а также выделяются мнения видных ученых, изучающих технологии цифровых двойников. В данной статье представлен литературный обзор применения автоматизированных производственных систем на основе цифровых двойников. Концепция цифровых двойников, предполагающая создание виртуальных копий физических объектов, привлекла значительное внимание в различных отраслях, в том числе и в промышленности. В данном обзоре литературы рассматривается, как цифровые двойники используются для повышения эффективности, точности и производительности промышленных процессов, на современном этапе развития науки и техники. В работе освещаются преимущества и проблемы, связанные с внедрением исследуемых автоматизированных систем.

*Ключевые слова:* цифровой двойник, моделирование, анализ, модели, управление, системы, автоматизация.

По определению руководства НАСА, цифровой двойник — это интегрированная симуляция, воспроизводящая транспортные средства или системы с помощью вероятностных моделей, включающих различные физические и размерные элементы. Этот тип моделирования зависит от сложных физических моделей, текущей информации, обновляемой датчиками, и предыдущих оперативных данных [3].

Однако, по мнению М. Гривза, цифровой двойник — это коллекция виртуальных информационных структур, которые полностью характеризуют физический объект, независимо от того, был ли он ранее создан или нет, вплоть до атомной структуры и геометрических характеристик в любом масштабе — от микроскопического до макроскопического [12].

В работе [16] подчеркивается важность использования данных как из реального, так и из виртуального пространства, а также их взаимодействия. Согласно [15], цифровые двойники — это цифровые копии живых и неживых объектов, которые помогают максимально

использовать возможности всех физических объектов и постоянно вносят свой вклад в повышение уровня жизни и общего благосостояния. В определении [14], подчеркивается, что данные в реальном времени используются цифровым двойником для функционирования на протяжении всего его жизненного цикла. В [13] уточняется, что цифровой двойник — это соответствующим образом синхронизированная коллекция релевантных данных о физическом объекте в виртуальной области, информационные потоки которой обеспечивают конвергенцию между виртуальным и физическим состояниями.

В работах [17, 18] дано более точное описание, которое помогает понять реальное применение цифрового двойника. В данном описании «цифровым двойником» называется семейство сложных междисциплинарных математических моделей, которые являются высокоточными представлениями реальных материалов, вещей, структур, машин, устройств, технических и киберфизических систем. Трехмерные нестационарные нелинейные уравнения с частными производными используются для

представления механических и физических процессов, включая технические и производственные процессы.

Более современное определение цифрового двойника в литературе дано Старком и Дамерау в 2019 году, оно звучит как «...цифровое представление активного уникального продукта [...] или уникальной системы продуктов и услуг [...], которое включает в себя его выбранные характеристики, свойства, условия и поведение с помощью моделей, информации, а также данных в рамках одного или даже нескольких этапов жизненного цикла» [5].

Кун (Kuhn, 2017) [6] утверждает, что цифровой двойник может включать нефизические «сущности», такие как услуги, в дополнение к реальным предметам. Некоторые ученые заходят так далеко, что определяют цифровой двойник как систему в целом. Некоторые рассматривают активы компании как реальное пространство, а некоторые даже видят четкую связь между реальным пространством и конкретными продуктами. В отношении виртуального пространства существует консенсус, однако мнения о том, как понимать реальное пространство, расходятся. Большинство исследований придерживаются определения цифрового двойника, данного NASA, которое гласит, что одна из основных функций цифрового двойника — создание максимально реалистичного виртуального клона настоящего физического объекта.

Семераро и другие [19] проводят тщательный анализ литературы, уделяя особое внимание внедрению цифровых двойников в промышленных организациях. В их исследовании тщательно рассматривается ряд важных аспектов, таких как точное определение цифровых двойников, различные области, в которых они используются, когда имеет смысл внедрять их стратегически, мотивы их принятия и различные трудности, возникающие при их использовании в реальных сценариях. Авторы особо выделяют промышленные предприятия в качестве основных победителей, которые имеют все шансы воспользоваться преимуществами технологии цифровых двойников.

Аналогичным образом Бао и другие [3] исследуют сложное взаимодействие между традиционными парадигмами моделирования трафика и цифровыми двойниками, объясняя различия между ними. Они предлагают трехуровневую технологическую архитектуру и проводят глубокое исследование ключевых технологий, поддерживающих цифровых двойников, особенно в отношении создания сложных дорожных ситуаций.

В рамках тщательного исследования, направленного на выявление элементов, которые либо способствуют, либо препятствуют интеграции цифровых двойников в перерабатывающую промышленность, Перно и кол-

леги [8] классифицировали широкий спектр влияний на стимулирующие факторы и препятствующие барьеры путем применения методологии описательного кодирования первичных литературных источников.

Стрельцов Г.Р. поясняет что, цифровой двойник представляет собой набор виртуальных информационных конструкций, которые полностью описывают потенциальный или реальный физический объект или систему. В транспортно-логистических системах, какую представляет собой дорожное движение, цифровые двойники используются для моделирования и оптимизации логистических процессов, маршрутизации транспорта, прогнозирования трафика и управления транспортными системами [4].

Методология цифровых двойников активно развивается в последние несколько лет в трудах множества ученых, таких как, Симченко Н.А., Бизингер Ф., Мейке Д., Созинов П.А., Андреев Г.И. [1, с. 5; 2, с. 15; 3 с. 18].

По нашему мнению, одно из главных преимуществ цифрового двойника — это возможность отражать изменение состояния во времени. То есть цифровой двойник не является обычной статической моделью, а изменяется (или точнее сказать отражает изменения объекта) с учётом телеметрии сенсоров интернета вещей, синхронизируя данные, полученные от них. Не уходя далеко от примера с банковской сферой (которая является самым активным, но далеко не единственным пользователем данной технологией), можем указать на то, что с помощью DToC компании отслеживают изменения вкусов и предпочтений клиентов. Таким образом, цифровой двойник клиента поможет подобрать персональное условие вклада, основываясь на данных о том, что потребителю важна возможность пополнения/снятия средств.

Альфонсо Велоса отмечает самое важное, это предсказательные способности цифровых двойников — отличительная черта от технологий мониторинга только текущего состояния. «Цифровые двойники усиливают влияние Интернета вещей (IoT) на бизнес, предлагая мощный способ мониторинга и управления активами и процессами», — говорит Альфонсо Велоса, вице-президент Gartner по исследованиям [9]. Умная модель на основе машинного обучения и искусственного интеллекта, используя данные, полученные от множества сенсоров, способна предсказывать поведение объекта, процесса или системы в будущем. Оставаясь в рамках примера с банком и вкладом, цифровой двойник клиента поможет ответить на вопрос «Когда клиенту может понадобиться другая услуга, основываясь на его предыдущих выборах или замеченной заинтересованности в чем-то?»

Майкл Гривз описывает что, существует несколько классификаций цифровых двойников в зависимости

от того, где они задействованы. Рассмотрим одну из них, а именно классификацию, предложенную профессором Технологического университета Флориды Майклом Гривзом [7]. Он выделял 3 основных типа: прототип цифрового двойника (Digital Twin Prototype / DTP), экземпляр (Digital Twin Instance/DTI) и агрегированный цифровой двойник (Digital Twin Aggregate).

Рост идеи цифрового двойника показан на рис. 1, где также выделены основные этапы ее развития. М. Гривз внес существенный вклад еще в 2014 году, подробно объяснив феномен цифрового двойника. Его объяснение содержалось в новаторской «белой книге» [4], предназначенной для распространения в деловых кругах. В ней не только были описаны нюансы новой технологии, но и заложена основа для глубокого понимания этой области. После ее выхода крупные компании, в том числе «Сименс», быстро включили эту фразу в свою рекламу, закрепив понятие «цифровой двойник» в деловом языке.

Очевидно, цифровой двойник клиента, скорее всего можно как раз отнести к категории агрегированного двойника. Все данные о выборе клиента поступают в ЦОД, где обрабатываются и анализируются. DToC обеспечивает двунаправленную взаимосвязь — с одной стороны, клиент предоставляет компании данные о своих интересах и предпочтениях, а с другой стороны, компания, обрабатывая эти данные, предлагает клиенту персонализированные предложения, снова затем, собирая данные о его реакции на предложения, и «полезный цикл» замыкается.

Тщательно изучая поведение моделей цифровых двойников, можно получить полезные сведения о кривых спроса на энергию и эффективном управлении генерирующими мощностями. Используя цифровых двойников, авторы А. Франциско и Н. Мохаммади создают платформу для «умного управления энергией в городе» (2020). Эти исследователи используют информацию, полученную от интеллектуальных счетчиков, которые регистрируют электрические параметры, для оценки степени энергоэффективности в цифровых моделях зда-

ний-близнецов. Цель проекта Франциско и Мохаммади — создать передовые модели, оценивающие важные метрики и модели поведения, используя технологию цифровых двойников в контексте электростанций [11].

Эта работа является частью более масштабной инициативы по использованию цифровых двойников для создания систем, специально предназначенных для моделирования различных условий работы электросетей. Для оценки эффективности моделей также используются методы машинного обучения.

В исследовании, проведенном Петтеем К., используется ряд методов моделирования, которые используют оптимизационные модели для определения лучших мест для зарядных станций электромобилей. Важные переменные, включая потребление энергии, емкость аккумулятора и частоту зарядки, включены в модели, созданные для различных электромобилей, а главной целью является максимизация времени, которое транспортные средства тратят на зарядку [10].

Кроме того, согласно другому исследованию, интеллектуальная электросеть может использовать передовые модели для прогнозирования и определения неидеальных условий работы. Это позволяет эффективно контролировать распределение энергии между зарядными станциями [12]. Эти результаты подчеркивают важность цифровых двойников для точного моделирования управления зарядкой электромобилей, что, в свою очередь, играет важную роль в обеспечении надежности интеллектуальных сетей в условиях растущего парка электромобилей.

Следует раскрыть сферу последних достижений и новейших разработок в области цифровых двойников в 2024 году.

В 2024 году IBM активно участвует в инициативе по изменению ситуации в Роттердамском порту, в рамках которой цифровые двойники используются для продвижения инноваций и повышения эффективности портовых операций. Для оптимизации своей деятельности ключевые участники нефтегазовой отрасли, такие как



Рис. 1. Основные этапы развития концепции цифровых двойников

ADNOC, BP, Chevron, Equinor, Petrobras и Royal Dutch Shell, активно используют виртуальные копии производственных систем. В этот растущий список входят такие титаны индустрии, как IBM, Microsoft, SIEMENS, General Electric, Emerson Electric Co, Bosch, Rockwell Automation, PTC Inc, SAP SE, Hitachi Ltd. и многие другие. Список зарубежных компаний, внедряющих DDC, расширяется по мере того, как их использование становится все более распространенным.

Итак, цифровые двойники, сегодня, часто выступают в роли «предвестников», поскольку постоянно анализируют огромные объемы данных. Например, значительная поломка компрессора на нефтеперерабатывающем заводе была предсказана технологией предиктивной аналитики Schneider Electric на 25 дней раньше, чем планировалось. Это позволило сотрудникам принять необходимые меры и предотвратить значительные финансовые потери. Цифровые двойники находят применение и в работе городских властей. Например, в Финляндии с помощью технологии CityGML был создан цифровой двойник города Хельсинки 3D+, учитывающий несколько аспектов городской жизни, таких как загруженность дорог, изменение климата, нагрузки на систему отопления и строительные процессы. Это гарантирует эффективное распределение ресурсов и позволяет прогнозировать проблемы до того, как они окажут серьезное влияние на инфраструктуру.

#### Научное обсуждение темы

Благодаря использованию передовой робототехники и искусственного интеллекта, предлагается внедрить инновационную технологию Digital Doppelganger, или создать реалистичный виртуальный клон реальной промышленной системы. Данные цифровой двойник, в отличие от уже имеющихся в промышленности симуляторов, будет сочетать в себе данные в реальном времени и минутные функции, чтобы предложить абсолютно реалистичное и точное изображение актива, который он представляет. Цифровой двойник будет иметь способность разрабатывать сложные модели прогнозирования, сочетая искусственный интеллект и машинное обучение, имитируя несколько раундов, чтобы определить идеальные обстоятельства и параметры процедур.

Цифровой двойник будет как органичное продолжение существующей промышленной инфраструктуры, легко интегрируясь в машины, сборочные линии и производственные процессы. Этот цифровой клон обладает способностью обрабатывать огромные объемы данных в режиме реального времени, что позволяет ему принимать обоснованные решения и молниеносно адаптироваться к динамичным условиям. Благодаря передовым сенсорным возможностям и когнитивным вычислениям этот цифровой двойник может обнаруживать аномалии,

предсказывать необходимость технического обслуживания и оптимизировать работу, сокращая эксплуатационные расходы. Сферы применения цифрового двойника: от автомобилестроения до фармацевтического производства, при всем этом не ограничиваясь только физическими задачами. Он также будет обладать функциями помощи в проектировании совершенно новых продуктов, способствуя сотрудничеству и обмену знаниями между экспертами в различных областях. Предоставляя общую платформу, где инженеры, дизайнеры и аналитики могут сотрудничать, проверять гипотезы и обмениваться идеями, он ускоряет инновационный цикл и способствует постоянному совершенствованию.

Непрерывно собирая и анализируя потоки данных от множества датчиков, встроенных в промышленную инфраструктуру, двойник будет генерировать действенные идеи по оптимизации производительности и профилактическому обслуживанию оборудования, промышленного предприятия. Из преимуществ выделим, такой проактивный подход обеспечивает максимальное время безотказной работы, минимизирует риск неожиданных сбоев и, в конечном счете, позволяет промышленным предприятиям сэкономить значительные средства. Моделируя различные сценарии и внося потенциальные коррективы, современные промышленные предприятия смогут выявлять узкие места, оптимизировать процессы и повышать производительность, и все это в виртуальной сфере, сводя к минимуму сбои и простои в физическом мире, перечисленное позволит экспертам изучать непроработанные стратегии производства, экспериментировать с альтернативными конфигурациями и разрабатывать инновационные решения, не прибегая к дорогостоящим и трудоемким физическим прототипам.

Таким образом, следует заключить, на основании данного обзора литературы, что в исследованиях, существует несколько различных трактовок термина «цифровой двойник». Он функционирует как цифровое представление объектов реального мира, облегчающее автоматизированный обмен данными и информацией для поддержки выявления проблем и поиска решений. Авторы, А. Саад и С. Фаддел, разработали интегрированную энергетическую систему, предназначенную для оценки влияния оборудования, которое динамически настраивается в соответствии с требованиями системы распределения энергии [13]. Они используют цифровые двойники подсистем для оптимизации интеграции огромных энергетических систем с их подсистемами. Основанная на концепции «система в системе», эта модель включает в себя аппаратное обеспечение, которое подключается к ней для запуска и управления симуляцией, что помогает справиться со сложностью энергораспределительных сетей.

К физическим же двойникам относятся такие вещи, как ветряные турбины, реактивные двигатели, здания, промышленные предприятия и города; у каждого из них есть соответствующий цифровой двойник. Основная задача цифрового двойника — воспроизвести с определенной степенью точности и регулярности наблюдаемую структуру, состояние и поведение своего физического аналога. Следовательно, он эмулирует все взаимодей-

ствия — движения, давление, взаимодействие среды с системой и системы с системой, — с которыми физический двойник столкнулся бы в реальном мире. Понятие «цифровой двойник» получило развитие в современной литературе и в настоящее время широко понимается как цифровое изображение реальных предметов, процедур или систем [19].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бизингер Ф., Мейке Д., Кресе Б., Вейрих М. Цифровой двойник для планирования производства на основе киберфизических систем: пример создания цифрового двойника на базе киберфизической системы // *Procedia CIRP*, Volume 79, 2019, стр. 355–360. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119302045> (28.04.2024).
2. Симченко Н.А., Цифровые двойники в экономическом развитии промышленности: управление и эффекты: монография. — Симферополь: Издательский дом КФУ, 2021. — 237 с.
3. Созинов П.А., Андреев Г.И. и др. Цифровые двойники: монография / под ред. П.А. Созинова. — Москва: Радиотехника, 2022. — 311 с.
4. Стрельцов Г.Р. Цифровые двойники: риски, перспективы и влияние на мировую экономику. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Современные цифровые технологии». — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL chromeextension://efaidnbmninnbpcjpcglcfindmkaj/[https://elibrary.ru/download/elibrary\\_54479869\\_10149361.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_54479869_10149361.pdf) ((28.04.2024).
5. Stark R., Damerau T. (2019). Digital Twin. *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Vol. 66, pp. 1–8, [https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_1) 6870-1 (In Engl.).
6. Kuhn T. (2017). Digitaler Zwilling. *Informatik Spektrum*. No. 40, pp. 440–444, <https://doi.org/10.1007/s00287-017-1061-2> (In Engl.).
7. Цифровые двойники: не просто модный тренд // блог COMSOL URL: <https://www.comsol.ru/blogs/digital-twins-not-just-hype/> (дата обращения: (28.04.2024).
8. Perno M., Hvam L., and Haug A., «Implementation of digital twins in the process industry: A systematic literature review of enablers and barriers», *Computers in Industry*, vol. 134, p. 103558, 2022. [Online], Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016636152100165237>
9. Prepare for the Impact of Digital Twins // Gartner URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins> (дата обращения: (28.04.2024).
10. Pettey C. Prepare for the Impact of Digital Twins / C. Pettey // Gartner: Stamford. — 2017.
11. Francisco A. Smart city digital twin-enabled energy management: Toward real-time urban building energy benchmarking / A. Francisco, N. Mohammadi, J.E. Taylor.
12. Saad A. On the Implementation of IoT-Based Digital Twin for Networked Microgrids Resiliency Against Cyber Attacks / A. Saad, S. Faddel, T. Youssef and O.A. Mohammed // *IEEE Transactions on Smart Grid*, Том 11, выпуск 6, страницы 5138–5150. — 2020.
13. Hicks B. Industry 4.0 and Digital Twins: Key lessons from NASA [Электронный ресурс]: <<https://www.thefuturefactory.com/blog/24>>, (28.04.2024).
14. Bolton R.N. et al. Customer experience challenges: bringing together digital, physical, and social realms // *J. of Service Management*. 2018. Vol. 29, N 5. P. 776–808.
15. Abdulmotaleb El Saddik A. Digital twins: the convergence of multimedia technologies // *IEEE Multimedia*. 2018. Vol. 25, N 2. P. 87–92.
16. Tao F. et al. Digital twin-driven product de-sign framework // *Intern. Journal of Production Research*. 2018. P. 1–19.
17. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» [Электронный ресурс]: <<https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019npt.pdf>>, (28.04.2024).
18. Боровков А.И., Рябов Ю.А. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки // *Цифровая трансформация экономики и промышленности: Сб. тр. науч.-практ. конф. с зарубежным участием, 20–22 июня 2019 г.* СПб: Политех-Пресс, 2019. С. 234–245. DOI:10.18720/IEP/2019.3/25.
19. Semeraro C, et al., Digital twin paradigm: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 2021. 130: p. 103469
20. Bao L, Wang Q., and Jiang Y., «Review of digital twin for intelligent trans- portation system», *International Conference on Information Control, Electrical Engineering and Rail Transit (ICEERT)*, pp. 309–315, 2021.

© Султан Небрас (nebras.sultan88@gmail.com); Петров Валерий Евгеньевич (cu58@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ПРОФИЛАКТИЧЕСКОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЮ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

## LITERATURE REVIEW ON PREDICTIVE MAINTENANCE BASED ON DIGITAL TWINS AND ITS APPLICATION IN INTELLIGENT MANUFACTURING

**Sultan Nebras  
V. Petrov**

*Summary.* The rapid development in the manufacturing industries makes predictive maintenance more important, as traditional predictive maintenance cannot meet the current stage's needs in many cases. With the increasing introduction of digital twins in the industry, predictive maintenance based on digital twins has become a very significant research point in the manufacturing sector. This article presents research on the general methods of digital twin technology and predictive maintenance technology. It analyzes the research gap between them and highlights the importance of using digital twin technology to achieve predictive maintenance. Secondly, this article presents the application of digital twins in smart manufacturing and discusses the limitations, challenges, and opportunities for increasing reliance on digital twins in predictive maintenance.

*Keywords:* digital twins, predictive maintenance, fault prediction, smart manufacturing, fault diagnosis.

**Султан Небрас**

аспирант, Московский государственный  
технологический университет «СТАНКИН»  
nebras.sultan88@gmail.com

**Петров Валерий Евгеньевич**

Кандидат технических наук, доцент, преподаватель,  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»  
cu58@mail.ru

*Аннотация.* Быстрое развитие в производственных отраслях делает предиктивное обслуживание более важным, так как традиционное предиктивное обслуживание во многих случаях не может удовлетворить потребности текущего этапа. С увеличением внедрения цифровых двойников в промышленности предиктивное обслуживание на основе цифровых двойников становится очень значимой областью исследований в производственном секторе. В данной статье представлены исследования общих методов технологии цифровых двойников и технологии предиктивного обслуживания. Анализируется разрыв в исследованиях между ними и подчеркивается важность использования технологии цифровых двойников для достижения предиктивного обслуживания. Во-вторых, в статье представлено применение цифровых двойников в умном производстве и обсуждаются ограничения, вызовы и возможности для увеличения зависимости от цифровых двойников в предиктивном обслуживании.

*Ключевые слова:* цифровые двойники, предиктивное обслуживание, прогнозирование неисправностей, умное производство, диагностика неисправностей.

### Введение

**В** передовых и сложных отраслях, которые содержат множество машин и оборудования в производственном процессе, ремонт и обслуживание машин и оборудования являются очень важными.

Метод последующего обслуживания, который зависит от регулярной проверки состояния оборудования и машин и ремонта их неисправностей, является одним из методов, которые напрямую влияют на время работы и эффективность труда, поэтому был предложен метод предиктивного обслуживания.

Метод предиктивного обслуживания зависит от исторических данных, моделей и схем машин и их характеристик, с помощью которых можно прогнозировать работу оборудования и машин, а также прогнозировать неис-

правности, тем самым улучшая процесс принятия решений по обслуживанию и снижая риск отказов и простоев.

Для производственных компаний использование технологии предиктивного обслуживания позволяет избежать простоев, устранять неисправности, максимизировать время работы, повышать эффективность труда, снижать затраты на обслуживание и улучшать экономические показатели.

Хотя все больше и больше промышленных компаний осознают преимущества предиктивного обслуживания, на сегодняшний день лишь немногие компании внедрили предиктивное обслуживание, все еще существует большая зависимость от последующего обслуживания и профилактического обслуживания, что приводит к избыточности в значительных масштабах. Эта ситуация в основном связана с недостаточной точностью, на-

дежностью и адаптивностью метода предиктивного обслуживания. Исследователи работали над поиском подходящих способов решения этих проблем, анализируя технические характеристики и примеры применения, чтобы помочь в предиктивном обслуживании, улучшить недостатки на уровне диагностики и прогнозирования ошибок и своевременно принимать решения по обслуживанию [1].

## Цифровой двойник и предиктивное обслуживание

В этом разделе мы главным образом рассматриваем общие методы цифрового двойника и предиктивного обслуживания, определяем разрыв в исследованиях между этими двумя технологиями и указываем на важность исследования метода предиктивного обслуживания на основе цифрового двойника.

### 1. Метод цифрового двойника:

Цифровой двойник представляет собой динамическую модель, которая постоянно обновляется и изменяется вместе с изменениями физических объектов, и представляет состояние оборудования, рабочие условия, геометрию и состояние ресурсов в виде синхронизации данных. При создании цифрового двойника обычно включаются следующие три части:

*Информационная модель:* информационная модель физического объекта относится к абстрагированию характеристик физического объекта и построению информационной модели о нем. Информационная модель обычно включает в себя модель внешнего вида и модель механизма физического объекта. Без информационной модели, описывающей особенности физического объекта, данные, передаваемые в киберпространство, теряют свой смысл и контекст [4].

*Механизм связи:* для создания цифрового двойника ключевым моментом является механизм передачи данных между цифровым объектом и физическим объектом. В физическом пространстве синхронизация состояния между цифровым объектом и физическим объектом зависит от двусторонней передачи данных в реальном времени. Система цифрового двойника чувствует параметры состояния и параметры производительности физического объекта с помощью высокоточного оборудования для сбора информации (таких как датчики) и реализует сбор и передачу данных в реальном времени [4].

*Обработка данных:* сложная система имеет множество параметров оборудования и большую избыточность данных, и эти параметры обладают сильной связностью, нелинейностью и временной изменчивостью, что напрямую влияет на качество данных. Технология цифрового двойника использует различные технологии

обработки данных, такие как большие данные, для хранения, отбора, обработки и взаимодействия с данными в реальном времени, чтобы эффективно оценивать и обрабатывать изменения внешней среды. Как применить алгоритмы искусственного интеллекта к технологии анализа больших данных, является ключом к дальнейшей реализации обработки и моделирования больших данных [5].

### 2. Метод предиктивного обслуживания:

Конкретное содержание предиктивного обслуживания обычно включает мониторинг состояния оборудования, диагностику неисправностей, прогнозирование остаточного срока службы и принятие решений по обслуживанию.

В области производства Ван [7] предложил функциональную модель системы предиктивного обслуживания, которая включает:

Предиктивное обслуживание, определяемое моделью, включает сбор и обработку данных, идентификацию состояния, идентификацию и локализацию неисправностей, прогнозирование здоровья, управление обслуживанием и выполнение обслуживания.

- *Сбор и обработка данных:* Основное оборудование для сбора и обработки данных состоит из датчиков и сборщиков данных. Датчик в основном используется для сбора информации о состоянии и процессе оборудования и связанной среды, а сборщик данных — для предоставления информации о процессе оборудования на производственной площадке.
- *Идентификация состояния:* Идентификация состояния означает агрегацию данных о характеристиках состояния и пороговое суждение с помощью анализа признаков для получения текущего состояния оборудования. Идентифицированное состояние оборудования используется в качестве входных данных для прогнозирования состояния, чтобы обеспечить основу для диагностики неисправностей или прогнозирования здоровья. Перед идентификацией состояния требуется предварительная обработка данных и анализ признаков собранных данных.
- *Идентификация и локализация неисправностей:* Диагностика неисправностей включает метод, основанный на модели механизма, и метод, основанный на данных. Метод, основанный на модели механизма, заключается в создании имитационной модели на основе механических и электрических принципов самого оборудования. При возникновении неисправности остаточная величина, полученная в результате сравнения выходных

данных и модели, основанной на выходных данных в нормальных условиях, используется для определения различных режимов неисправности и уровней неисправности [6].

- быть различными в зависимости от входных данных в вышеуказанной модели [4].
- *Прогнозирование здоровья*: Прогнозирование здоровья заключается в использовании параметров состояния и характеристических сигналов для оценки состояния здоровья и будущей тенденции изменений оборудования на основе различных методов анализа и моделей прогнозирования, а также прогнозирования тенденции неисправностей и здоровья до их возникновения. В литературе [9] систематически обобщены приложения предиктивного обслуживания в индустрии 4.0, и указывается, что текущие методы обнаружения и прогнозирования неисправностей оборудования в основном включают алгоритмы, основанные на моделях, и алгоритмы, основанные на данных.
- *Управление обслуживанием и выполнение обслуживания*: Интеллектуальное принятие решений по обслуживанию. Управление обслуживанием интеллектуального производственного оборудования заключается в разработке соответствующей стратегии обслуживания путем комбинирования выходных результатов прогнозирования состояния здоровья с управлением оборудованием предприятия на основе полного учета безопасности и затрат.

### 3. Анализ разрыва в исследованиях между двумя направлениями:

Подводя итоги, при возникновении неисправности оборудования предиктивное обслуживание акцентирует внимание на анализе состояния оборудования, прогнозировании его неисправностей и вспомогательном принятии решений. Достаточное количество практических случаев показывает, что традиционное предиктивное обслуживание может описывать динамический процесс только в рамках определенного пространственного и временного масштаба и не может осуществлять долгосрочное динамическое обслуживание. Цифровой двойник акцентирует внимание на симуляции состояния оборудования. Цифровой двойник имитирует работу оборудования, собирает данные об оборудовании, которые динамически изменяются со временем, и может предоставлять более интеллектуальное приложение обслуживания по сравнению с предиктивным обслуживанием, что позволяет реализовать долгосрочное динамическое обслуживание оборудования. Можно сказать, что основная идея цифрового двойника способствует эволюции модели предиктивного обслуживания.

### 4. Важность предиктивного обслуживания на основе цифровых двойников:

Анализируя разрыв между предиктивным обслуживанием и цифровыми двойниками в предыдущем разделе, в этом разделе будет объяснена важность использования технологии цифровых двойников для реализации предиктивного обслуживания с учетом этих разрывов.

Важность предиктивного обслуживания для производственных и других отраслей широко признана. В то же время это также ключ к обеспечению эффективного и устойчивого обслуживания оборудования. Однако, из-за недостатков предиктивного обслуживания, не так много предприятий [1]. В настоящее время основными режимами обслуживания остаются последующее обслуживание и крупномасштабное избыточное профилактическое обслуживание [3]. В то же время рост технологии цифровых двойников является новой возможностью для традиционных отраслей и новым трендом взаимной интеграции технологий в различных отраслях. Цифровой двойник сделал достаточное количество попыток в промышленности. С 2004 года многие крупные компании в отрасли начали использовать технологию цифровых двойников для выполнения множества полезных попыток в проектировании продукции, производстве, обслуживании и других аспектах. Сочетание цифрового двойника и предиктивного обслуживания также является новым трендом, возникающим в последние годы. Использование технологии цифрового двойника может хорошо решить проблему недостатков предиктивного обслуживания.

В наши дни требования к непрерывности работы промышленного оборудования становятся все выше. Внезапная остановка из-за отказа оборудования будет влиять на непрерывность производства и снижать его эффективность. С точки зрения экономических выгод, бесплечное обслуживание и регулярное обслуживание в традиционной модели обслуживания будут влиять на производственную эффективность и качество продукции, а также значительно увеличивать затраты производителей. По сравнению с традиционной моделью обслуживания, предиктивное обслуживание может улучшить производительность за счет повышения доступности и качества оборудования, продлить срок службы оборудования и снизить сложность обслуживания и затраты на его выполнение.

#### Характеристика предиктивного обслуживания на основе цифровых двойников

В этом разделе мы сначала опишем уникальные характеристики метода предиктивного обслуживания на основе цифрового двойника.

### 1. Восприятие в реальном времени:

Восприятие в реальном времени является основой для построения модели цифрового двойника оборудования. По сравнению с традиционным предиктивным обслуживанием, ключевое отличие предиктивного обслуживания на основе цифровых двойников заключается в способности к восприятию, регулированию и прогнозированию в реальном времени. Конкретно, построение виртуальных цифровых двойников предоставляет множество преимуществ для предиктивного обслуживания на основе цифровых двойников:

1. Высокая интерактивность данных в реальном времени
2. Восприятие всех факторов в реальном времени
3. Способность к интеллектуальному принятию решений
4. Моделирование множества сценариев применения в реальном времени

### 2. Высокоточная модель:

Высокоточная модель — это подготовка данных для построения модели цифрового двойника оборудования. Отличные высокоточные модели могут сделать результаты симуляции ближе к поведению реальных устройств.

### 3. Прогнозирование с высокой степенью уверенности:

Прогнозирование с высокой степенью уверенности является основной функцией цифровых двойников. После завершения высокоточной модели цифровой двойник может коррелировать данные инспекций и измерений, ключевые параметры технического состояния и т. д., и проводить анализ прогнозирования состояния физического оборудования на основе физической модели и модели анализа, основанной на данных, таких как мониторинг состояния здоровья оборудования, прогнозирование оставшегося полезного срока службы и прогнозирование неисправностей.

#### 3.1. Обнаружение и прогнозирование неисправностей:

Обнаружение неисправностей и прогнозирование неисправностей являются функциональными модулями системы и оценкой состояния системы. Они используются для описания состояния здоровья системы, включая наличие неисправностей в системе или вероятность будущих отказов, серьезность неисправностей и т. д.

В настоящее время методы прогнозирования неисправностей оборудования в основном включают две категории: первая — это алгоритм, основанный на модели, вторая — алгоритм, основанный на данных [6]. Лин предложил это.

### 3.2. Прогнозирование остаточного ресурса:

Прогнозирование остаточного ресурса основано на данных системы и связанных технологиях, чтобы точно предсказать возможные отказы и местоположения неисправностей системы в течение определенного периода времени в будущем и точно предсказать оставшийся срок службы компонентов системы. Прогнозирование остаточного ресурса помогает вовремя принимать меры по ремонту неисправных компонентов для обеспечения нормальной работы системы и успешного выполнения задач. С точки зрения виртуального моделирования, управляемого цифровым двойником, прогнозирование остаточного ресурса включает методы без глубокого обучения и методы глубокого обучения. Методы без глубокого обучения включают процесс Винера, скрытую марковскую модель, регрессионную модель и т. д. Методы глубокого обучения включают глубокие нейронные сети, сверточные нейронные сети и т. д. В настоящее время промышленность в основном сосредоточена на исследовании динамических байесовских алгоритмов и алгоритмов глубокого обучения. Айвалиотис и др. [2] описывают методы и механизмы, разработанные и оцененные для прогнозирования остаточного ресурса. Расчет остаточного ресурса интегрирован в общую структуру, называемую «инструмент прогнозирования поведения машины для приложений обслуживания». Анис и др. [3] расширяют технологию долгосрочной и краткосрочной памяти для создания высокоточного и низко ошибочного прогнозирования остаточного ресурса в рамках цифрового двойника. Сюй и др. [4] реализуют мониторинг в реальном времени и предиктивное обслуживание с помощью двухэтапного метода диагностики неисправностей цифрового двойника на основе глубокого переносного обучения, перенося предварительно обученную модель диагностики из виртуального пространства в физическое.

#### 3.3. Прогнозирование потребностей в обслуживании и затрат на обслуживание:

В сочетании с цифровым двойником можно также проводить анализ потребностей и прогнозирование затрат на процесс обслуживания. Цифровой двойник может выполнять все процессы в запланированной задаче, прогнозировать потребности в обслуживании и затраты на оборудование в этот период и планировать последующие задачи и затраты. Лу и др. [4] используют технологию компьютерного моделирования для снижения производственных и испытательных затрат, чтобы модель цифрового двойника обладала способностью к диагностике неисправностей и оптимальному проектированию. Хайм и др. [5] могут оценить потребности в поддержке формирования, моделируя цифровые двойники каждого самолета в формировании. Деятельность по техническому обслуживанию и замене компо-

нентов может быть отражена через обновление данных цифрового двойника для реализации управления конфигурацией одного самолета.

### Области применения

Предиктивное обслуживание на основе цифровых двойников может быть применено в различных областях. В этом разделе будут представлены и обсуждены некоторые представительные области.

#### 1. Интеллектуальное производство:

В области производства цифровые двойники могут всесторонне улучшить эффективность производственного процесса и работу производственной линии путем моделирования и прогнозирования всех аспектов изготовления оборудования и производственного цикла. В производственном сценарии производственную линию можно разделить на две части: пространственное измерение и временное измерение из разных измерений. Для различных уровней строятся соответствующие виртуальные модели в информационном мире, моделируется состояние работы оборудования, мониторится состояние работы производственного оборудования и процесса во взаимодействии с целевой системой, и проводится анализ, прогнозирование и принятие решений [[8], [5]]. Интеллектуальное производство постепенно становится актуальным в текущем технологическом развитии. Это производственная парадигма, направленная на оптимизацию распределения ресурсов. Она обладает характеристиками реального времени анализа, интеллекта, точности и гибкости восприятия состояния рынка и клиентов в реальном времени. Производство переходит от массового производства к индивидуализированному производству.

##### 1.1. Технологическое оборудование

С быстрым распространением цифровых технологий в производстве объем данных, генерируемых промышленными объектами, стал больше, чем когда-либо прежде. Для полного использования большого количества доступных данных о процессах и оборудовании в современных промышленных комплексах очень важно разработать стратегию управления здоровьем оборудования.

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ), как основное оборудование в промышленности, являются важным производственным оборудованием. В настоящее время многие промышленные проекты нуждаются в высокоточных станках, состоящих из сотен компонентов. Компоненты станков необходимо мониторить и обслуживать, чтобы избежать отказов, влияющих на эффективность работы. Для обеспечения непрерывной работы производственной линии необходимо пони-

мать состояние каждого станка и его компонентов. Если неисправность не будет устранена своевременно, это может привести к потере точности и повлиять на производство. Луо и др. [6] изучили гибридный метод, управляемый цифровыми двойниками. Этот метод представляет собой гибридный метод предиктивного обслуживания, основанный на моделях цифровых двойников и данных, используемых в цифровых двойниках. Было исследовано применение этого метода для прогнозирования срока службы инструмента. Айвалиотис и др. [6,2] используют цифровые двойники для расчета оставшегося срока службы механического оборудования на основе физической модели, чтобы мониторить и прогнозировать состояние машины через моделирование. Если состояние каждого оборудования известно в любое время, план обслуживания будет легче составить. Буусе и др. [3] не полагаются на исторические данные об отказах для оценки состояния активов, а используют глубокие цифровые двойники для отслеживания деградации активов и различия режимов отказов в стационарных и нестационарных условиях работы. Кроме того, из-за сложного дизайна современных машин создание цифровых моделей может быть сложной задачей. Айвалиотис [5] предлагает метод, основанный на передовом физическом моделировании. Согласно методу, предложенному в статье, пользователи могут определять, создавать и использовать цифровую модель ресурсов.

##### 1.2. Управление жизненным циклом продукта:

Сервис онлайн-мониторинга состояния и управление жизненным циклом продукта становятся все более важными для продления срока службы системы и раннего обнаружения неисправностей. В последние годы предприятия уделяют все больше внимания управлению качеством продукции. Управление жизненным циклом продукта и онлайн-мониторинг состояния продукта, реализованные с помощью цифрового двойника, отвечают этим требованиям. Халил и др. [3] представляют приложение, которое получает данные о работе машины и обрабатывает их на платформе IIoT для оценки состояния системы и визуализации результатов в пользовательском интерфейсе с дополненной реальностью. Хан [4] считает, что самостоятельное обслуживание является основным направлением текущих исследований и разработок, и обсуждает роль цифровых двойников как инструмента для принятия решений.

##### 1.3. Диагностика неисправностей:

Диагностика неисправностей на основе технологии цифровых двойников предлагает новую парадигму для интеллектуального производства. Традиционный метод диагностики неисправностей на основе данных обычно предполагает, что обучающие и тестовые данные подчиняются одному и тому же распределению, что нереа-

листично в реальном производственном процессе, который является динамическим. В этой ситуации модели с различными уровнями детализации анализа должны сосуществовать, взаимодействовать и поддерживать взаимную согласованность. Чимино и др. [5] предлагают метод моделирования для решения проблемы несоответствия динамических моделей в случае виртуального и реального взаимодействия, и приводят пример поддержки на основе объектно-ориентированного языка моделирования. Одновременно динамичность среды системы может сделать основную модель непригодной для меняющейся реальности и, таким образом, ослабить весь подход. Объединяя расчет вероятности обнаружения с установленным методом управления процессом, Борс и Гервен [8] предлагают метод обнаружения нарушений пространства работы цифровых двойников и аналогичных технологий, а также локализуют необходимые обновления для обеспечения эффективного обслуживания модели. Ватхупан и др. [9] вводят новый модульный метод корректирующего обслуживания, который использует цифровой двойник модуля автоматизации. С помощью своего цифрового двойника и связанного с ним визуального интерфейса он предоставляет поддержку по установлению причин неисправностей для технических специалистов, выполняющих корректирующие операции по обслуживанию модулей автоматизации.

#### Научное обсуждение темы

Мы продемонстрировали уникальные характеристики и потенциал предиктивного обслуживания на основе технологии цифровых двойников. Однако превращение концепции предиктивного обслуживания на основе цифровых двойников в практическую систему сталкивается с рядом вызовов. В этом разделе мы суммируем ключевые технические вызовы и исследовательские возможности в этой новой области. В будущем цифровые двойники будут развиваться в трех направлениях: общая платформа, полный жизненный цикл и интеграция. Согласно обзору литературы, существует значительное количество исследований, касающихся вызовов использования моделей цифровых двойников для обслуживания и прогнозирования срока службы. Однако до сих пор отсутствует общая платформа для создания физических моделей с использованием общих методов. Более конкретно, для обслуживания производственного предприятия внедрение технологии цифровых двойников требует создания цифровой модели для каждой машины. Из-за различных типов машин, включенных в производственное предприятие, каждый цифровой двойник нужно строить независимо, что усложняет общий процесс обслуживания. Таким образом, необходимо определить общую структуру для создания цифровых двойников. В настоящее время нет стандартной структуры цифрового двойника, которая могла бы адаптироваться

к различным производственным системам, и нет общей методики разработки и внедрения концепции цифрового двойника. Следовательно, создание общей структуры для цифровых двойников является вызовом для развития предиктивного обслуживания на основе цифровых двойников.

Концепция проектирования цифрового двойника предполагает моделирование всего жизненного цикла оборудования. Однако на данном этапе исследования цифрового двойника оборудования в основном сосредоточены на стадии проектирования оборудования или послепродажного обслуживания и редко касаются стадии производства оборудования. Можно ожидать, что исследования и применение цифрового двойника оборудования на стадии производства оборудования станут горячей точкой в будущем. Этот вид исследований может дополнить пробел в оптимизации всего плана обслуживания с точки зрения всего процесса. Кроме того, одним из вызовов цифрового двойника является определение оптимального уровня детализации и различных связей при создании моделей цифровых двойников.

#### Заключение

Мы представили метод предиктивного обслуживания на основе цифрового двойника (predictive maintenance based on digital twins), который использует технологию цифровых двойников для устранения недостатков традиционного предиктивного обслуживания. Метод предиктивного обслуживания на основе цифрового двойника обладает тремя уникальными характеристиками: восприятие в реальном времени, высокоточная модель и высоконадежное моделирование и прогнозирование. Проанализировав роль традиционного предиктивного обслуживания и цифровых двойников, мы выделили основные характеристики, включая высокую интерактивность данных в реальном времени, восприятие всех факторов в реальном времени, интеллектуальные способности принятия решений, моделирование в реальном времени для различных сценариев применения, высокоточную виртуальную модель, слияние мультифизических моделей, обнаружение и прогнозирование неисправностей, прогнозирование остаточного срока службы, анализ потребностей в обслуживании и прогнозирование затрат на обслуживание.

Предиктивное обслуживание на основе цифровых двойников будет способствовать развитию и совершенствованию многочисленных областей применения, таких как интеллектуальное производство, энергетическая промышленность, умные здания и т. д. На основе анализа существующих систем и выявленных характеристик мы предложили референсную структуру для создания системы предиктивного обслуживания на основе цифровых двойников в производственной отрасли. Эта

структура может быть успешно применена для промышленных роботов и более крупных областей применения. В заключение мы определили несколько ключевых вызовов и исследовательских возможностей для предиктивного обслуживания на основе цифровых двойников.

Этот обзор литературы закладывает фундамент для дальнейших исследований по углублению зависимости от предиктивного обслуживания на основе цифровых двойников в умных индустриях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Cheng J. et al. DT-II: Digital twin enhanced Industrial Internet reference framework towards smart manufacturing //Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. — 2020. — Т. 62. — С. 101881.
2. Li X. et al. Framework for manufacturing-tasks semantic modelling and manufacturing-resource recommendation for digital twin shopfloor //Journal of Manufacturing Systems. — 2021. — Т. 58. — С. 281–292.
3. Qi Q. et al. Enabling technologies and tools for digital twin //Journal of Manufacturing Systems. — 2021. — Т. 58. — С. 3–21.
4. Wu J. et al. The development of digital twin technology review //2020 Chinese Automation Congress (CAC). — IEEE, 2020. — С. 4901–4906.
5. Liu M. et al. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications //Journal of manufacturing systems. — 2021. — Т. 58. — С. 346–361.
6. Tao F. et al. Five-dimension digital twin model and its ten applications //Comput. Integr. Manuf. Syst. — 2019. — Т. 25. — №. 1. — С. 1–18.
7. Lu Y. et al. Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications, and research issues //Robotics and computer-integrated manufacturing. — 2020. — Т. 61. — С. 101837.
8. Wang C., Wang C., Wang K. Technology research and standard development of predictive maintenance for intelligent manufacturing equipment //China Standardization Journal. — 2021. — Т. 7.
9. Huang J. et al. The application of digital twin on power industry //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2021. — Т. 647. — №. 1. — С. 012015.

© Султан Небрас (nebras.sultan88@gmail.com); Петров Валерий Евгеньевич (cu58@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ УСПЕХОВ УЧАЩИХСЯ В МООК, ИНТЕГРИРОВАННЫЙ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ ОБУЧЕНИЕМ

## A SYSTEM FOR TEACHING AND ASSESSING STUDENT SUCCESS IN MOOCS, INTEGRATED AND SMART LEARNING

V. Tarasov

*Summary.* This work is aimed at analyzing intelligent open access learning systems integrated with learning analytics, capable of individualizing the learning process and offering personalized recommendations. Based on the analysis, recommendations were formulated for improving existing systems and creating smarter massive open online courses (MOOCs) to provide more effective training for a wide range of students. The purpose of this work is to identify the main shortcomings of existing systems and methods of knowledge analysis, as well as to make proposals for their improvement. In the course of the presented work, the following tasks were accomplished: to conduct research into the effectiveness of types of intelligent open access learning systems, identify the main shortcomings and propose ways to eliminate them. Formulate conclusions and recommendations for integrating these systems into the educational process.

*Keywords:* MOOC, LMS, ITS, AMT, SPRT, LA, EDM, DA.

**Тарасов Вячеслав Сергеевич**

Аспирант, Московский государственный университет  
информационных технологий,  
радиотехники и электроники (МИРЭА)  
slavatarasov207@gmail.com

*Аннотация.* Данная работа направлено на анализ интеллектуальных систем обучения с открытым доступом, интегрированной с аналитикой обучения, способных индивидуализировать учебный процесс и предлагать персонализированные рекомендации. На основе проведенного анализа сформулированы рекомендации по улучшению существующих систем и созданию более «умных» массовых открытых онлайн-курсов (МООК) для обеспечения более эффективного обучения широкого спектра обучающихся. Целью данной работы является выявление основных недостатков существующих систем и методов анализа знаний, а также внесение предложений по их улучшению. В ходе представленной работы были выполнены следующие задачи: провести исследования эффективности видов интеллектуальных систем обучения с открытым доступом, выявления основных недостатков и предложения по их устранению. Сформулировать выводы и рекомендации по интеграции данных систем в образовательный процесс.

*Ключевые слова:* MOOC, LMS, ITS, AMT, SPRT, LA, EDM, DA.

**М**ассовые открытые онлайн-курсы (МООК) представляют собой одну из разновидностей систем управления обучением (LMS). Данные системы во многом схожи между собой, они одинаково предоставляют материалы для обучения всем обучающимся, посещающим курс, но не могут предложить индивидуальное обучение, учитывающее персональные особенности и потребности учащихся. Взаимодействие преподавателя с учеником в данных системах сводится к минимуму, в них мало возможностей контактировать с обучающимися и привносить им индивидуальный процесс обучения. Учебные технологии постоянно совершенствуются в создании технологических инструментов, которые способствуют улучшению процесса обучения и повышению его эффективности. Исследование Блума (1984) показывает, что обучение может быть ускорено путем индивидуального репетиторства. Учащимся необходима поддержка в процессе обучения, особенно учитывая дефицит преподавателей в современной образовательной среде [2].

Курсы МООК предоставлены на бесплатной онлайн-среде, которые доступны каждому, либо предоставля-

ются тем, кто получил к ним доступ. На них обучается большое количество учащихся, начиная от студентов различных учебных заведений, до тех, кто проходит профессиональную переподготовку (ПП). Число МООК и учащихся, записывающихся на курсы, постоянно растет из-за высокой потребности как самих учащихся в дополнительном образовании, так и необходимости специалистов высокого профиля для государств. [3]

Традиционно курсы МООК состоят из учебной программы, включающей в себя учебные материалы курсов, системы оценки и процесса сертификации [7]. Модель, основа МООК, обычно у всех поставщиков этих курсов одинакова и предоставляет собой учебный контент, в который входят: обучающие видеоролики, материалы для чтения, тесты, задачи. В некоторых возможны дискуссии между участниками и/или преподавателями на онлайн-форумах. Из-за большого количества участников МООК, ручная оценка заданий и экзаменов невозможна. Чтобы оценить работу участников, преподаватели используют инструменты, позволяющие автоматически выставлять оценки [6].

В образовательных структурах массовых открытых онлайн-курсов отсутствует индивидуальное обучение для каждого студента. MOOK представляют подходящую среду для студентов с развитыми навыками самостоятельного обучения. Однако студенты с недостаточно развитыми навыками самостоятельного обучения могут столкнуться с проблемами, такими как, незнание процесса обучения, неопределенность начала обучения и отсутствие помощи в освоении сложного материала. В MOOK часто не предоставляется адекватного руководства, а иногда и достаточной учебной информации. Проблемы взаимодействия студентов с контентом остаются актуальными. Необходимо обеспечить более персонализированное взаимодействие MOOK с обучающимся, наладить обратную связь для улучшения образовательного процесса. Существующие недостатки MOOK могут привести к неблагоприятным результатам обучения, низкой мотивации студентов и прекращению обучения [2].

Продолжаются поиски способов сделать такие системы интеллектуальными, подстраивающимися под каждого конкретного ученика. Взяв у данных систем лучшие и ключевые качества можно привнести в интеллектуальные системы обучения улучшения, например, персональные возможности для каждого ученика. Учитывая имеющиеся недостатки у массовых открытых онлайн-курсов, определим задачи для появления новых возможностей у MOOK:

- возможность определять уровень имеющихся знаний и потребности учащихся посредством зачетного тестирования и направлять учащихся на основе их потребностей и уровня знаний;
- выявлять недостатки в обучении, отслеживать взаимодействие учащихся с контентом и предлагать новые возможности и пути решения
- поддерживать заинтересованность в обучении с помощью процессов динамической оценки знаний на разных этапах обучения;
- проверять учебные компетенции учащихся.

Основываясь на выше сказанном, следует рассмотреть новый подход к оцениванию остаточных знаний обучающихся и внедрению для этого интеллектуальной системы обучения (ITS) и искусственного интеллекта в традиционные системы MOOK. Интеллектуальные тьюторы (ITS) представляют собой один из способов моделирования поддержки учащихся в процессе обучения. ITS отличается от систем структурированного обучения, поскольку он ориентирован на поддержку учащихся в процессе решения задач. Так в качестве анализа можно рассмотреть на сегодняшний день следующие существующие ITS, такие как Cognitive Tutors, ALEKS, AutoTutor, DeepTutor и других. На основе анализа данных систем использование ITS с искусственным интеллектом можно рассматривать, как вклад в разви-

тие самостоятельного обучения в образовании, путем интеграции MOOK с различными технологиями искусственного интеллекта [4,5].

Одна из основных идей, это внедрение искусственного интеллекта в MOOK в качестве поддержки. При использовании искусственного интеллекта можно проанализировать степень готовности и уровень знаний обучающегося перед началом курса, искусственный интеллект обеспечит индивидуальную поддержку в процессе обучения.

Анализ в области искусственного интеллекта за последние годы показывает увеличение количества исследований применения его в образовании. Исследователи отмечают необходимость изучения применения технологий искусственного интеллекта в образовании, таких как интеллектуальные образовательные системы, рекомендательные системы для улучшения качества образовательного процесса. Взаимодействие технологий искусственного интеллекта и педагогики, особенно в контексте применения технологий искусственного интеллекта в образовательной сфере высшего образования принесет результаты, которые будут полезны как обучающимся, практикующим специалистам, так и исследователям, работающим в области искусственного интеллекта в образовании.

На рисунке 1 изображена система функционирования MOOK с применением искусственного интеллекта на базе нейронных сетей, которая включает в себя следующие основные компоненты: а) автоматизированное тестирование, б) содержание обучения и опыт обучения, в) интеллектуальный анализ образовательных данных, аналитику обучения и вмешательство в процесс обучения, а также г) модуль динамической оценки.

На представленном рисунке 1 продемонстрирован ряд тестов, при решении которых обучающийся будет проходить проверку на мастерство, что в свою очередь обозначает усвоение предмета по той или иной теме в случае, если какие-то вопросы были отмечены как не верно выполненные. В понятие мастерство может вкладываться как процент выполнения правильности решенных задач, так и математические алгоритмы оценки остаточных знаний. Для совершенствования мастерства вопросы, на которые были даны не верные ответы, будут заново заданы, только в виде иной формулировки или вопроса, но по той же теме, для ее качественного усвоения. Таким образом, применение инструмента искусственного интеллекта для оценивания остаточных знаний при помощи мастерства демонстрирует новый подход в AMT (Adaptive Mastery Testing) — «Адаптивное тестирование мастерства».



Рис. 1. Схема МООК с применением искусственного интеллекта на базе нейронных сетей

#### Система распределения задач для проверки остаточных знаний

Термин остаточные знания введен в обращение достаточно давно, но для данного понятия не определено содержание, подлежащее проверке, так и срок реализации процедуры контроля. За срок оценки остаточных знаний можно взять временной рубеж — регламент аттестации вуза, согласно которому тестирование должно проводиться для студентов, закончивших изучать те или иные дисциплины не более, чем за год до проверки. Применение МООК с интегрированным искусственным интеллектом в данном промежутке времени может увеличить остаточные знания перед тестированием в образовательных организациях.

Существующие системы направлены на решение потребности учащихся в обучении и с помощью общего тестирования, без индивидуального подхода, они выявляют общие показатели по группам. При таких тестированиях многим обучающемуся не удастся узнать свои ошибки. В связи с этим, возникает необходимость применения индивидуального тестирования, а также возможность отслеживать взаимодействие учащихся с тестами и результатами данного тестирования с помощью аналитики обучения. Тем самым, введение индивидуального тестирования позволяет внедрить технологию обучения на предоставлении обучающемуся возможности непрерывной оценки остаточных знаний. Данная технология может быть основана на процессах динамической оценки, проверке учебных компетенций учащихся, предоставлении индивидуальных тестов из банка вопросов, подстраивая тестирование под наименее изученные темы и предлагая учащемуся на основе выявленных ин-

дикаторов, индивидуальные, наименее изученные материалы, пример данной реализации в МООК представлен на рисунке 1. Для сравнения принципов действия оценивающих систем можно воспользоваться работой Кислякова Ю. Г. «Квалиметрическая технология диагностики остаточных знаний студентов», где описываются существующие подходы по оценке остаточных знаний [1]. Данные подходы в своей основе способны уступать предложенной выше схеме на рисунке 1 и используют способ оценки остаточных знаний в общей группе, не акцентируя большого внимания к индивидуальному подходу и готовности обучающихся, тем самым предлагался общий бланк ответов и вопросов направленных на анализ знаний группы и выявления средних показателей, что не дает достаточного усвоения материалов. Пример системы, взятой в качестве анализа представлен на рисунке 2. На рисунке 1,3 показаны схемы обучения, основанные на прохождении или не прохождении обучающего модуля, тем самым используется индивидуальный подход в обучении и оценке остаточных знаний.

Как показано на рисунке 2, традиционная схема обучения начинается с целей модуля и заканчивается оценкой, позволяющей определить, достигнуты ли эти цели или нет. Схема обучения на рисунке 1, 3 основанная на освоении знаний, начинается аналогично целям модуля, но завершается переходом к следующему модулю на основе оценки знаний и предполагает построение следующих оценочных мероприятий на основе темы, находящейся в процессе изучения. Так можно привести следующее, в случае успешного прохождения тестирования и/или курса уровень освоения предмета повышается, где предмет можно обозначить как  $j$ . Таким образом, после повторных прохождений на выявление опыта об-



Рис. 2. Традиционная схема обучения

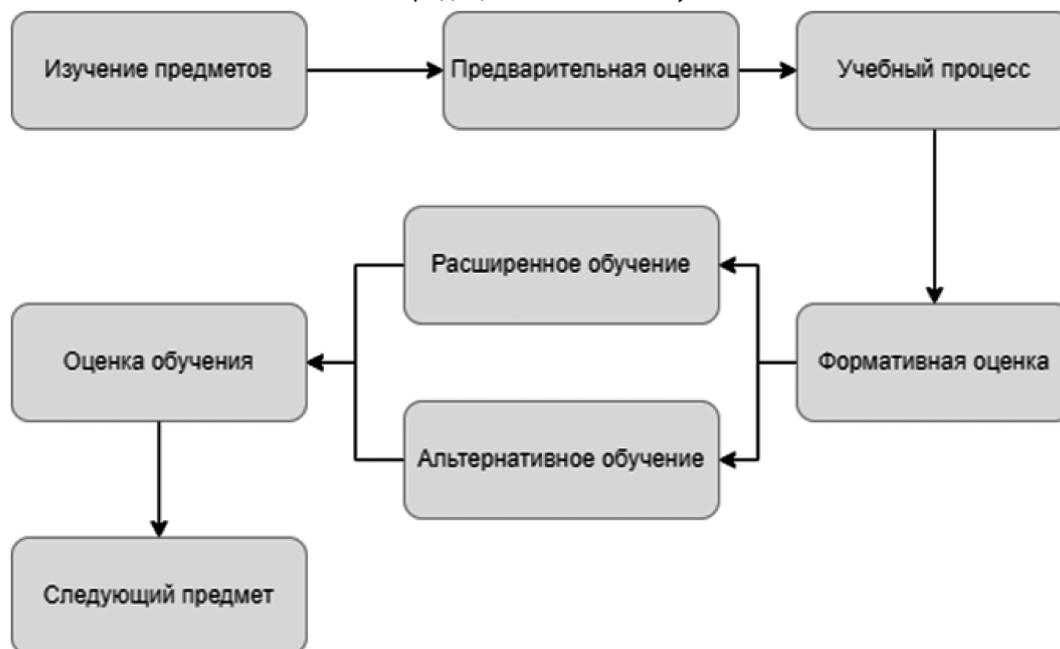


Рис. 3. Схема обучения, основанная на прохождении или не прохождении обучающего модуля

учения оценивается полученный результат по усвоению остаточных знаний и, если учащийся является мастером в данной области знаний, он может перейти к следующему модулю. На рисунке 4 представлена модель, которая, представляет предлагаемую технологию, в которой используется подход распределения задач. Данная модель в основном состоит из следующих взаимосвязанных систем а) AMT, б) LA и EDM, в) MOOK и д) ITS (динамического оценивания) и все данные системы скрепляются при помощи единого инструмента нейронной сети. Модуль AMT интегрирован с системой предварительного те-

стирования и оценки обучения. Для учебного процесса с ним интегрирован модуль MOOK и LA & EDM. Модуль ITS интегрирован для этапов обогащения и альтернативного обучения.

AMT (Adaptive Mastery Testing) — Адаптивное тестирование мастерства

MOOC (Massive Open Online Course) — Массовый открытый онлайн-курс

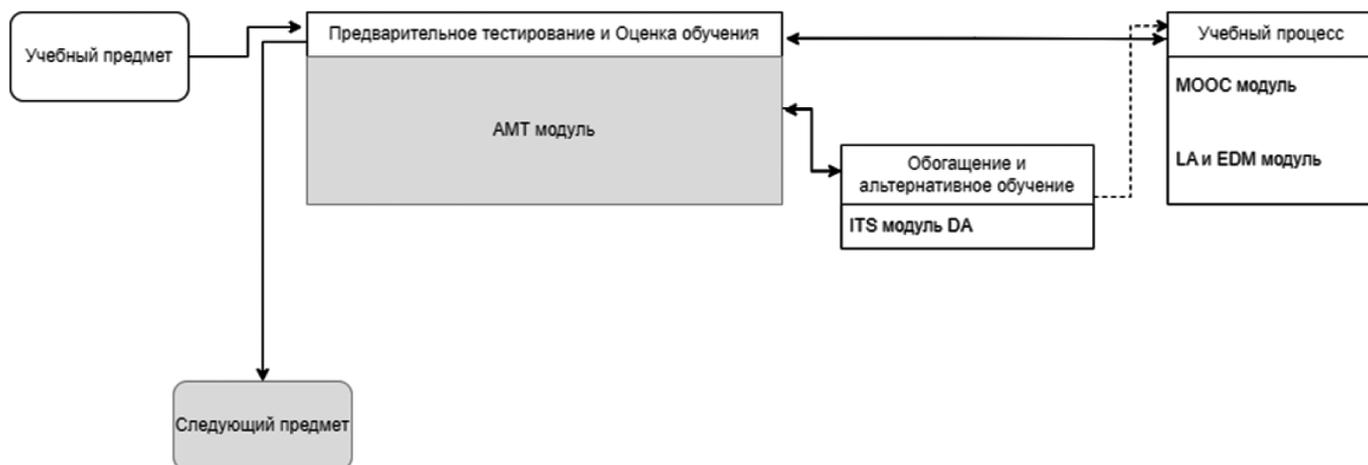


Рис. 4. Учебная модель MOOC



Рис. 5. Компоненты и процессы «MOOC», интегрированные с интеллектуальной системой обучения и оценивания овладения мастерством по выделенному предмету

LA (Learning Analytics) — Аналитика обучения

EDM (Educational Data Mining) — Образовательный анализ данных

DA (Dynamic Assessment) — Динамическая оценка

Модель обучения мастерству лежит в основе процесса проектирования схемы на рисунке 1. Данная модель основана на новой схеме обучения, поддерживаемой AMT, и динамической оценке с помощью нейронных сетей. На рисунке 5 представлены процессы и взаимосвязи этой модели обучения.

Ниже (см. табл. 1) показаны предметы учебной программы, определенные в модуле и схемах. Для демонстрации основной вопросно-ответной формы, по которой, в зависимости от правильности ответов идет распределение уровня мастерства. При положительном прохождении вопросы в следующих бланках не будут затрагивать темы, уже изученные ранее. В противном случае будут формироваться вопросы из предыдущих тем, на которые были даны не правильные ответы. Данная структура функционирует в качестве подхода для укрепления остаточных знаний.

Так, в примере предложенной системы, на основе анализа существующих ITS систем при входе в систему

Таблица 1.

Учебная программа в модуле

Курс: Медицина чрезвычайных ситуаций	Блок: Организация лечебно-эвакуационного обеспечения раненых
Предмет 1.1: Медицинская сортировка	Тип вопроса: Множественный выбор
Курс: Медицина чрезвычайных ситуаций	Блок: Организация лечебно-эвакуационного обеспечения раненых
Вопрос: Какие виды транспорта могут использоваться для организации лечебно-эвакуационного обеспечения раненых?	
Выбор 1: А) Все варианты	
Выбор 2: Б) Кареты скорой помощи	
Выбор 3: В) Специализированные автомобили	
Выбор 4: Г) Поезда-больницы, вертолеты	
Правильный ответ: все	
Подсказка 1: Шаг за шагом, на крыльях или на колесах, дорога к спасению средствами медицинской техники!	
Наводящие вопросы: Какие основные критерии необходимо учитывать при выборе транспорта для перевозки раненых, в зависимости от характера травм и удаленности от медицинского учреждения?	
Рабочий пример: для организации лечебно-эвакуационного обеспечения раненых могут использоваться автомобили скорой помощи, вертолеты, а также специализированные медицинские поезда и самолеты.	

учащийся может активировать, например, предмет «Медицинская сортировка» в модуле «Организация лечебно-эвакуационного обеспечения раненых и населения в чрезвычайных ситуациях в полевых условиях» (который является одним из тем учебной программы «Медицина чрезвычайных ситуаций») через навигационные меню. Затем система выполняет «подстраиваемость» для обучающегося, создает вопросы либо из банка, либо при помощи нейронной сети на основе заранее проведенного тестирования и введенных данных об обучающемся. В случае провала данного теста новый тест будет сформулирован на основе провальных вопросов при помощи инструмента нейронной сети из заранее созданного банка вопросов, при повторных тестированиях показатели обучающегося будут фиксироваться в зависимости от того насколько учащийся освоил этот предмет.

Так учащиеся сначала сдают тест в АМТ. Если они справляются с этим тестом, они переходят к следующей цели, в противном случае они переходят либо к повторному тестированию, либо к следующему с добавлением новых вопросов на основе анализа наиболее проблемных тем, на основе инструмента нейронной сети. Система делает некоторые оценки на основе алгоритмов в системе LA и искусственного интеллекта для анализа образовательных успехов обучающихся по индикаторам остаточных знаний, используя взаимодействие учащихся с контентом. Система вмешивается в работу учащихся на основе аналитики обучения, следуя выявленным закономерностям в виде недостаточного уровня прохождения тестов и в зависимости от определенных показателей уровня остаточных знаний. Когда опыт учащегося, основанный на его взаимодействии с контентом, завершен и индикаторы в аналитике обучения позволяют предположить, что учащийся освоил предмет, учащийся снова направляется к АМТ, но уже к следующей теме или предмету обучения. Если применяется повторное тестирование, то учащийся отвечает на разные задания во время повторного прохождения теста, а алгоритмы выбора заданий используются для представления раз-

ных вопросов. Если этот второй тест снова подтвердит, что учащийся не справляется, на этот раз учащийся направляется в среду динамического оценивания, а не в учебный контент. Чтобы улучшить свое обучение, учащийся, который еще не освоил соответствующий предмет, несмотря на взаимодействие с его содержанием, взаимодействует с обучающимися оценочными мероприятиями для обогащения и улучшения остаточных знаний благодаря расширенной индивидуальной подборке обучающегося материала из банка знаний в ITS. На основе динамической оценки существует конечное количество таких стратегических средств помощи в решении проблем, а оптимальное количество определяется в дальнейших исследованиях.

### Заключение

В МООК для оценки остаточных знаний и улучшения индивидуального обучения рассмотрены интеллектуальных систем обучения с применением динамической оценки знаний на основе инструмента искусственного интеллекта. Структура схемы обучения, которая объединяет МООК и LA с ITS предназначена для поддержки учащихся в процессе обучения. Она предложена на основе анализа образовательных систем и с предложением по рассмотрению применений нейронных сетей для оценки динамических знаний и корректировкой вопросов для тестирования в процесс обучения учащихся. Кроме того, представленная схема обучения включает АМТ для динамической оценки оказания поддержки обучающимся. Усвоение или неусвоенные знания учащихся по конкретному предмету определяется посредством мастерства и динамической оценкой остаточных знаний. Предложения по применению в современных обучающих системах подходов и методов для персонализированного, индивидуального обучения, с применением оценки остаточных знаний, исходят из идеи того, как сделать такие системы, как МООК, более интеллектуальными.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кислякова Ю.Г. Квалиметрическая технология диагностики остаточных знаний студентов: Дис.канд. пед. наук: 13.00.01: Ижевск, 2002
2. Bloom B.S. (1984). The 2-sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational Researcher*, 13(6), 4–16. <https://doi.org/10.3102/0013189X013006004>
3. Borrella I., Caballero-Caballero S., & Ponce-Cueto E. (2022). Taking action to reduce dropout in MOOCs: Tested interventions. *Computers & Education*, 179, Article 104412. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104412>
4. Chang Y.C. I. (2005). Application of sequential interval estimation to adaptive mastery testing. *Psychometrika*, 70(4), 685–713. <https://doi.org/10.1007/s11336-005-1140-9>
5. Chen X., Xie H., Zou D., & Hwang G.J. (2020). Application and theory gaps during the rise of artificial intelligence in education. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 1, Article 100002.
6. Floratos N., Guasch T., & Espasa A. (2015). Recommendations on formative assessment and feedback practices for stronger engagement in MOOCs. *Open Praxis*, 7(2), 141–152.
7. Spray J.A., & Reckase M.D. (1996). Comparison of SPRT and sequential Bayes procedures for classifying examinees into two categories using a computerized test. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 21(4), 405–414. <https://doi.org/10.3102/10769986021004405>
8. Stracke C.M., & Trisolini G. (2021). A systematic literature review on the quality of MOOCs. *Sustainability*, 13(11), 5817. <https://doi.org/10.3390/su13115817>
9. Tepgec M., Karaoglan Yilmaz F.G., Yilmaz R., Aydin F., Sulak S., & Yurdugul H. (2021). Learning analytics-based feed-forward: Designing dashboards according to learner expectations and lecturer perspectives. In *The association for educational communications and technology (AECT) international convention. USA: V c, 05–11—2021.*

© Тарасов Вячеслав Сергеевич (slavatarasov207@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ОНЛАЙН-ПРОЕКТА

## MATHEMATICAL MODELING IN THE DESIGN OF AN IN-GAME ITEM DISTRIBUTION SYSTEM IN THE VIRTUAL ECONOMY OF AN ONLINE PROJECT

**M. Figurov  
B. Mishchuk**

*Summary.* Building a successfully functioning virtual economy in MMO (massively multiplayer online projects) is currently the dominant task for most developers in the video game industry around the world. The continuous movement of digital assets within the virtual economic system ensures the regularity and stability of creating additional sources of income for developers, as well as expanding the range of opportunities for investing player's time and resources. As a rule, the main economic value among players is represented by various virtual items that can be obtained during the game. However, if the system is not balanced in the best way, this can lead to inflation and devaluation of in-game entities, which subsequently leads to the collapse of the virtual economy and a massive outflow of players from the project. Therefore, in order to keep the player engagement rate at a sufficiently high level, developers need to correctly balance the sources of virtual entities for players.

This article discusses the use of mathematical modeling in the development of an economic model of an online multiplayer project that is under development.

Based on the results of the study, an economic model has been developed for playing in different in-game locations, and a conclusion has been made about its effectiveness within the framework of the virtual economy system being developed.

*Keywords:* virtual economy, economic models, normal distribution, mathematical functions, artificial intelligence.

**Фигуров Максим Олегович**  
аспирант,

Балтийский федеральный университет им. И. Канта  
impromaximus@gmail.com

**Мищук Богдан Ростиславович**

кандидат физико-математических наук, доцент,  
Балтийский федеральный университет им. И. Канта  
b.mishchuk@yandex

*Аннотация.* Построение успешно функционирующей виртуальной экономики в MMO (массово-многопользовательских онлайн проектах) является доминирующей на данный момент задачей для большинства разработчиков в индустрии видеоигр по всему миру. Непрерывное движение цифровых активов внутри виртуальной экономической системы обеспечивает регулярность и стабильность создания дополнительных источников дохода разработчикам, а также расширение спектра возможностей инвестирования времени и ресурсов игрока. Как правило, основную экономическую ценность среди игроков представляют различные виртуальные предметы, которые можно получить в процессе игры. Однако, если система сбалансирована не лучшим образом, это может привести к инфляции и обесцениванию внутриигровых сущностей, что впоследствии приведет к обвалу виртуальной экономики и массовому оттоку игроков из проекта. Поэтому, чтобы удерживать показатель вовлечения игроков на достаточно высоком уровне, разработчикам необходимо грамотно сбалансировать источники получения виртуальных сущностей игроками.

В данной статье рассмотрен вопрос использования математического моделирования при разработке экономической модели мультиплеерного онлайн-проекта, находящегося на стадии разработки.

По результатам проведенного исследования разработана экономическая модель игры на разных внутриигровых локациях, а также сделан вывод об её эффективности в рамках разрабатываемой системы виртуальной экономики.

*Ключевые слова:* виртуальная экономика, экономические модели, нормальное распределение, математические функции, искусственный интеллект.

### Введение

Экономика виртуальных миров очень схожа с реальной, ведь она также включает в себя три основные составляющие — производство, потребление и дефицит. Отличие заключается в том, что, как правило, игрокам не всегда необходимо создавать внутриигровые товары самостоятельно (хотя во многих играх есть и такая возможность), ведь большую часть сущностей для развития внутри игры или продажи игрок получает посредством добычи лута (от англ. loot). Лут — это совокупность всех внутриигровых ценностей, которые игрок может присвоить себе в процессе игры. Среди

разработчиков существуют различные методы дистрибуции лута игрокам, но чаще всего это происходит через спавн (от англ. spawn) лута в определенных местах внутриигровых локаций. Математическое моделирование помогает разработчикам в создании сбалансированной системы спавна лута внутри виртуальной экономики, с учетом редкости, эффективности и влияния предметов на игровой процесс.

Объектом исследования в данной работе выступает система распределения внутриигровых предметов по локациям во многопользовательском онлайн-проекте, который на данный момент находится на поздних

стадиях разработки. Особое внимание было уделено построению математической функции распределения игроками количества игрового времени на разных локациях. Результаты потенциального применения данной функции для расчета внутриигрового баланса были представлены в научной работе, где они служат примером эффективного использования математического моделирования для экономической модели виртуальной экономики онлайн-проекта.

Целью настоящей научно-исследовательской работы является построение наиболее подходящей экономической модели для создания виртуальной экономики разрабатываемой игры.

Задачами исследования являются:

1. Анализ систем распределения предметов в виртуальной экономике на примере актуальных проектов.
2. Обоснование ведущих тенденций поведения игроков внутри виртуальной экономики, на основе которых можно спроектировать экономическую модель системы распределения внутриигровых предметов.
3. Проектирование экономической модели и анализ её эффективности в рамках создания системы распределения внутриигровых предметов внутри виртуальной экономики онлайн-проекта.

**Методы исследования**

Игровой процесс большинства успешных современных многопользовательских онлайн игр по своей сути представляет планомерное и размеренное наращивание игроком виртуальных ценностей посредством участия в ряде внутриигровых активностей. Объектом повышенного интереса игрока всегда являются предметы особой ценности, которые можно добыть лишь после тщательной подготовки и выполнении ряда серьезных испытаний. Например, в популярной MMO «World of Warcraft» подавляющее большинство предметов игроки получают в качестве награды за убийство внутриигровых противников. В момент победы над противником сервер согласно заданным разработчиками вероятностям случайно определяет содержимое приза, который получит игрок. Шанс на выпадение некоторых предметов настолько низок, что игроки могут годами охотиться за ними, раз за разом убивая одного и того же противника [1]. При этом официальная информация о внутриигровых шансах остается конфиденциальной, хотя игроки стараются получать актуальные данные путём сбора статистики [2].

В другой онлайн-игре «Escape from Tarkov» основной способ добычи внутриигровых ценностей заключается в поиске и сборе предметов, которые случайным обра-

Drop rates from Nighthold:	Kills	Won	Drop rate
Mythic raid boss kills:	1022	5	<b>0.49%</b>
Heroic raid boss kills:	15826	63	<b>0.40%</b>
Normal raid boss kills:	24551	80	<b>0.33%</b>
LFR raid boss kills:	8153	24	<b>0.29%</b>
<b>Total NH raid boss kills:</b>	<b>49552</b>	<b>172</b>	<b>0.35%</b>
Chars with 1 legendary:	2728	22	<b>0.81%</b>
Chars with 2 legendaries:	11002	73	<b>0.66%</b>
Chars with 3 legendaries:	20014	54	<b>0.27%</b>
Chars with 4 legendaries:	12488	20	<b>0.16%</b>
Chars with 5+ legendaries:	3066	2	<b>0.07%</b>
Weekly mythic+ chest:	1671	29	<b>1.74%</b>

Рис. 1. Статистика шансов выпадения легендарных предметов в World of Warcraft

зом появляются на карте [3]. Ключевое отличие от других игр заключается в том, что игрок не только не знает с какой вероятностью появится предмет, но и не имеет информации о том, где и что они получают. Таким образом, разработчики контролируют одновременно и вероятность выпадения разных предметов и их количество, что благоприятно сказывается на возможностях баланса экономики игры.

Если в реальном мире для производства любого товара всегда требуется время и ресурсы, такие как рабочая сила, сырье и оборудование, то в виртуальном мире предметы появляются моментально в зависимости от настроек, выставленных разработчиком [4]. Типичный график спроса-предложения в реальном мире выглядит примерно вот так:

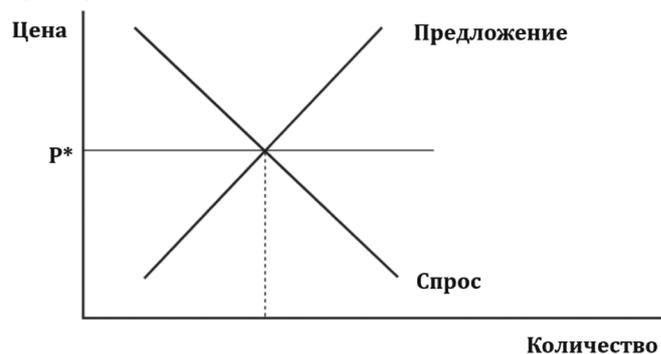


Рис. 2. График спроса и предложения в реальной экономике

Чем выше цена, тем больше людей хотят производить товар и тем меньше на него спрос. Цена товара установится в точке равновесия P\*, где предложение равно спросу. Но так ли обстоит дело в виртуальном мире?

Согласно классификации Тимоти Бёрка — игроков в MMO можно поделить условно на три группы в соот-

ветствии с их поведением внутри игры: максималисты, обычные игроки и жулики [5]. Для максималистов основной целью в игре является получение максимальных достижений и накопление наибольшего числа богатства и мощи. Обычные игроки чётко разграничивают реальный и виртуальный мир, поэтому на первое место ставят получение удовольствия от игры. Игроки-жулики занимаются постоянным поиском уязвимостей внутри игры, которые позволяют им нечестным путём получить как можно больше внутриигровых ценностей. При этом, данная классификация не фиксирует игроков исключительно в рамках своей группы — например, обычный игрок может случайно обнаружить игровую уязвимость и использовать её для быстрого виртуального обогащения с целью дальнейшего получения удовольствия от игрового процесса.

Таким образом, во-первых, разработчик не может заранее полностью предугадать поведение игрока, а во-вторых, вне зависимости от их поведения, основным фактором ради которого они играют в игру является получение удовольствия [6]. Исходя из этого суждения можем сделать вывод, что за активную игру в ММО игроки получают два вида вознаграждения — это виртуальные ценности и полученное в ходе игры удовольствие от процесса. Эта особенность в свою очередь влияет на график спроса-предложения для виртуальной экономики [7]:

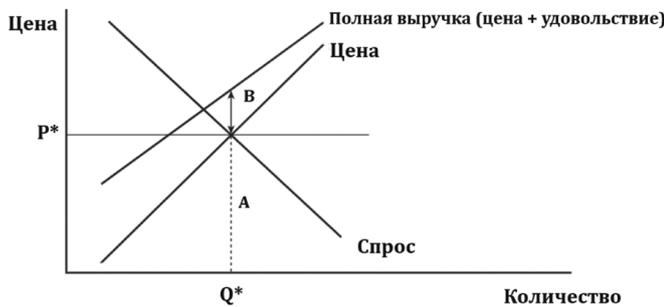


Рис. 3. График спроса и предложения в виртуальной экономике

При внесении любых изменений в игровой процесс, которые могут повлиять на увеличение интереса игрока к сбору предметов — кривая предложения будет сдвигаться вниз. Это происходит потому, что ценность предметов осталась неизменной, но удовольствие от процесса их сбора возросло, что в итоге приводит к тому, что большее количество товара станет продаваться по более низкой цене за единицу. На рисунке 4 показан график изменения спроса и предложения в зависимости от интереса игрока — из-за разницы между удовольствием от процесса до (F1) и после (F2) изменений, цена уменьшилась ввиду того, что количество товаров увеличилось (P2, Q2). Данный пример показывает, что даже незначительные аспекты, которые на первый взгляд никак не влияют на внутриигровую экономику — на самом деле могут оказать на неё значительное влияние.

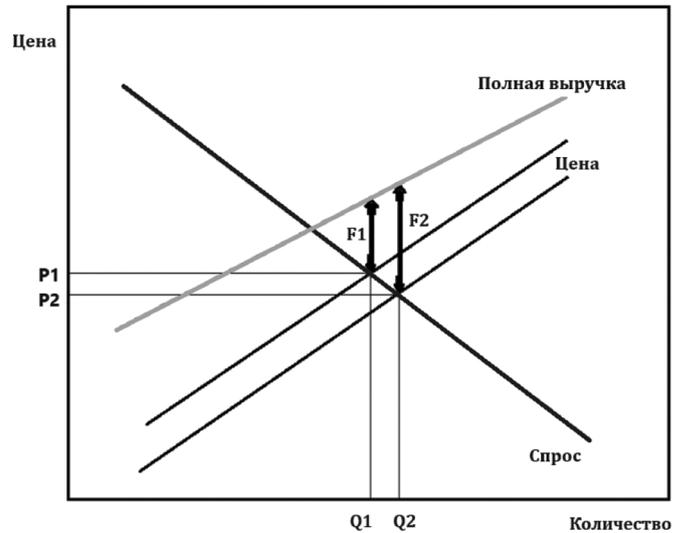


Рис. 4. Изменения спроса и предложения в зависимости от уровня интереса игрока

Чтобы поднять интерес игроков разработчикам постоянно нужно придумывать для них новые нетривиальные задачи [8]. К примеру, выбирая между двумя заданиями с одинаковой наградой, в одном из которых нужно найти десять распространенных предметов, а в другом всего один, но ценный — игроки скорее предпочтут поиски ценного предмета. При этом, если это задание изменить на поиск ста редких предметов вместо одного, то задание не станет от этого интереснее, если конечно не увеличить соответствующим образом награду за его выполнение [9].

На основании тезисов, приведенных выше, определим основные тенденции поведения игроков внутри виртуальной экономики:

1. Игроки играют в игру, чтобы получить удовлетворение от решения задач и преодоления трудностей.
2. Чем выше сложность задачи, тем потенциально выше удовольствие от её решения.
3. Функция, связывающая сложность внутриигровой задачи с удовольствием от её решения — не является монотонной.
4. При равном уровне сложности предпочтительна та задача, за которую награда выше.

В рассматриваемом проекте основа игрового процесса заключается в поиске внутриигровых предметов для их последующей продажи с целью обогащения игрока и его прогрессии в виртуальном мире игры. Пусть X измеряет интерес игрока к нахождению предметов, а Y и Z обозначают их ценность и сложность получения соответственно. Тогда мы можем составить функцию:

$$1) X = aY - b(Z - V)^2,$$

где  $V$  — обозначает идеальный для игрока уровень сложности.

Немаловажным фактором в процессе добычи виртуальных предметов является время, затраченное на их получение. Для определения максимальной эффективности добычи предметов используем функцию полезности, которая численно отобразит преимущество игры для игрока на определенной локации относительно другой. Допустим, что у нас есть две локации  $A$  и  $B$ , каждая из которых даёт  $FA$  и  $FB$  прибыли за час игры. Тогда функция полезности будет выглядеть следующим образом:

$$2) U(ZA, ZB) = FA \cdot \ln(ZA) + FB \cdot \ln(ZB),$$

где  $ZA$  и  $ZB$  — часы игры на разных локациях.

При общем количестве часов  $H$ , время на игру на разных локациях будет распределяться путём максимизации прибыли, указанной в формуле (2), учитывая, что  $H = ZA + ZB$ . Несмотря на то, что прибыль, получаемая с локации  $A$ , не влияет напрямую на прибыль, получаемую с локации  $B$  — при постоянном выборе одной и той же локации предельная полезность игрового процесса уменьшается, ибо репетитивность игры на одной и той же локации может существенно сократить общий объём виртуального заработка игрока. Таким образом, разница в настройках лута и уникальность ассортимента внутриигровых предметов на разных локациях сподвигает игрока к поочередной игре на каждой из них: он будет чаще выбирать игру на той локации, которая приносит больше прибыли, но он также будет какое-то время играть на локации с меньшей прибылью хотя бы для того, чтобы собрать на ней уникальные предметы.

Перед отправкой на любую из локаций — игроку необходимо подготовить внутриигрового персонажа, потратив часть виртуальных средств на закупку необходимого снаряжения перед вылазкой. Пусть  $mA$  и  $mB$  — средняя стоимость закупки снаряжения для эффектив-

ной игры на локациях  $A$  и  $B$  соответственно, а  $R$  — все прочие внутриигровые расходы игрока. Допустим,  $mR = 1$ . Если у игрока есть  $N$  внутриигрового дохода, то получаем:

$$3) R = N - mA \cdot ZA - mB \cdot ZB$$

Тогда целевая функция распределения количества игрового времени на разных локациях будет выглядеть следующим образом:

$$4) U(ZA, ZB, N - mA \cdot ZA - mB \cdot ZB) = FA \cdot \ln(ZA) + FB \cdot \ln(ZB) + y \cdot \ln(N - mA \cdot ZA - mB \cdot ZB)$$

Как результат, после нахождения оптимальных значений для  $ZA$  и  $ZB$ :

1. Игроки будут отдавать предпочтение локации с большей средней прибылью.
2. Игроки будут время от времени менять локацию для игры.
3. На локации, подготовка к которой дороже — игроки будут играть реже.

Таким образом, можно сделать вывод, что данная экономическая модель эффективна для расчёта равномерного распределения игровых активностей и виртуальных предметов на разных локациях, а также построения устойчивого игрового баланса, который обеспечит высокий уровень вовлеченности игроков в онлайн-проект.

### Заключение

В рамках научно-исследовательской работы была построена экономическая модель игры на разных внутриигровых локациях, в соответствии с обоснованным списком тенденций поведения игроков внутри виртуальной экономики. В ходе работы проведен анализ систем лута в виртуальной экономике на примере актуальных проектов, а также составлена функция распределения количества игрового времени на разных локациях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ramin Shokrizade «Games as a Service (GaaS)» [Электронный ресурс] URL: <https://raminshokrizade.substack.com/p/74b-games-as-a-service-gaas> (дата обращения: 20.05.2024)
2. «Real Legendary drop rates and other statistics for 9785 chars» [Электронный ресурс] URL: <https://www.mmo-champion.com/threads/2091126-Real-Legendary-drop-rates-and-other-statistics-for-9785-chars-Spreadsheet> (дата обращения: 22.05.2024)
3. Официальный сайт игры «Escape from Tarkov» [Электронный ресурс] URL: <https://www.escapefromtarkov.com/> (дата обращения: 22.05.2024)
4. «Why player-driven economies are a powerful tool for developers» [Электронный ресурс] URL: <https://www.pocketgamer.biz/why-player-driven-economies-are-a-powerful-tool-for-developers/> (дата обращения: 26.05.2024)
5. T. Burke. «Rubicite Breastplate Priced to Move, Cheap: How Virtual Economies Become Real Simulations» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.swarthmore.edu/SocSci/tburke1/Rubicite%20Breastplate.pdf> (дата обращения: 27.05.2024)
6. Шелл Д. Геймдизайн: как создать игру, в которую будут играть все. М.: Альпина Паблишер, 2021. — С. 193–196
7. Vili Lehdonvirta, Edward Castronova: Virtual Economies: Design and Analysis. Boston, The MIT Press, 2014. — P. 57–64
8. «Механики удержания в играх» [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/articles/796487/> (дата обращения: 05.06.2024)
9. «Как работают награды, и почему они могут убить вашу игру» [Электронный ресурс] URL: <https://www.school-xyz.com/blog/kak-rabotayut-nagrody-i-pochemu-oni-mogut-ubit-vashu-igru> (дата обращения: 06.06.2024)

© Фигуров Максим Олегович (impromaximus@gmail.com); Мищук Богдан Ростиславович (b.mishchuk@yandex)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТЕКСТОВ, НАПИСАННЫХ НА ЕСТЕСТВЕННЫХ ЯЗЫКАХ<sup>1</sup>

## STUDY OF THE ACCURACY OF CLUSTERING ALGORITHMS FOR TEXTS WRITTEN IN EUROPEAN LANGUAGES

M. Khairov  
D. Sabirova  
D. Novikova

**Summary.** This paper is devoted to investigating the problem of evaluating the accuracy of text clustering. To conduct the research, an expertly labeled dataset of 1800 texts was created, divided into three topics: IT innovations, education, and politics, as well as by text size.

The research included the steps of text processing, building vector models and applying different clustering algorithms such as K-means, Affinity Propagation and DBScan.

The results showed that K-means and Affinity Propagation algorithms achieved good results in text clustering accuracy (82 % and 85 %, respectively), while DBScan showed low accuracy (52 %) due to data features. In addition, K-means outperformed the other algorithms in terms of clustering completeness, showing 78 %.

**Keywords:** text clustering, text vector models, TF-IDF, K-means, Affinity Propagation, DBScan, clustering accuracy.

**Хайров Марат Русланович**

педагог ДО, Российский университет дружбы народов  
им. Патриса Лумумбы г. Москва  
khayrov\_mr@pfur.ru

**Сабирова Динара Илхомовна**

Лаборант, МИРЭА — Российский технологический  
университет  
г. Москва

khayrov\_mr@pfur.ru

**Новикова Дарья Сергеевна**

старший педагог ДО,  
Российский университет дружбы народов  
им. Патриса Лумумбы г. Москва  
khayrov\_mr@pfur.ru

**Аннотация.** Данная работа посвящена исследованию проблемы оценки точности кластеризации текстов. Для проведения исследований был создан размеченный экспертами датасет из 1800 текстов, разделенных на три тематики: IT инновации, образование и политика, а также по размерам текстов. Исследование включало этапы обработки текстов, построения векторных моделей и применение различных алгоритмов кластеризации, таких как K-means, Affinity Propagation и DBScan.

Результаты показали, что алгоритмы K-means и Affinity Propagation достигли хороших результатов в точности кластеризации текстов (соответственно 82 % и 85 %), в то время как DBScan демонстрировал низкую точность (52 %) из-за особенностей данных. Кроме того, K-means превзошел другие алгоритмы по полноте кластеризации, показав 78 %.

**Ключевые слова:** кластеризация текстов, векторные модели текстов, TF-IDF, K-means, Affinity Propagation, DBScan, точность кластеризации.

## Введение

Рубрикация и кластеризация текстов являются открытой проблемой 21-го века в области аналитики и машинного обучения. Кластеризация (рубрикация) текстов необходима почти во всех сферах жизнедеятельности, где используется тексты, написанные на естественном языке.

Кластеризация текста является важным инструментом в информационном поиске, для рекомендательных систем и области анализа настроений пользователей. Путем объединения схожих документов в кластеры по-

исковые системы предоставляют пользователям более точные и разнообразные результаты поиска. Кластеризация также позволяет персонализировать рекомендации и анализировать большие объемы текстовых данных для выявления тенденций.

Несмотря на их эффективность, применение алгоритмов кластеризации в области текстовой аналитики сопряжено с ограничениями, такими как чувствительность к выбросам и необходимость выбора подходящих алгоритмов и параметров в зависимости от характера данных.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ), грант № 23–21–00153 «Анализ и моделирование динамики нестационарных временных рядов фрактальных процессов с реализацией памяти (последействия) и самоорганизацией на основе использования дифференциальных уравнений с дробными производными».

## Литературный обзор

Существуют различные подходы к алгоритмам кластеризации. [1], пожалуй, наиболее популярными являются партиционный, иерархический и плотностной подходы. Алгоритмы, использующие условный подход, производят набор из  $K$  кластеров, не совпадающих друг с другом  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$  сумма кардинальности которых равна кардинальности самого набора данных — то есть,  $USI \in SSI \vee n$ .

Иерархические алгоритмы идут дальше, получая также информацию о взаимосвязях между кластерами, что обычно требует больших вычислительных затрат.

Алгоритмы, основанные на плотности, определяют кластеры как области с более высокой плотностью, что позволяет создавать кластеры произвольной формы [2].

Рассматривая направление кластеризации данных, нельзя не затронуть тему построения векторной модели данных для дальнейшего использования ее в алгоритмах кластеризации.

Одной из самых известных векторных моделей данных является модель TF-IDF. При использовании алгоритма TF-IDF признаковому слову присваивается вес, основанный на том, насколько часто оно встречается в наборе документов.

Однако у данного алгоритма есть некоторые недостатки, которые разобрал в своей научной статье Qiangyi Li [3]. В ней он выделил три основных недостатка данной модели:

1. отсутствие информации о распределении внутри категории;
2. нет информации о распределении категорий. Алгоритм не учитывает распределение характерных слов по категориям при определении весов;
3. невозможность адаптации к перекошенным наборам данных. В коллекции документов количество документов в каждой категории почти никогда не бывает одинаковым.

В данной статье был предложен метод для подсчета IDF, где автор предлагает заменить ее на формулу.

$$IDF = -\log\left(1 - \frac{F(m_i)}{F(m_i) + F(o_i)}\right) = \log\left(1 + \frac{F(m_i)}{F(o_i)}\right) \quad (1)$$

В статье [4] авторы Ashwini K.S. и Shantala C.P. рассмотрели все эти вышеуказанные модели и произвели исследование точности кластеризации алгоритмами K-means. Более того, для авторы использовали метод локтя для подбора оптимального значения  $K$ .

Данный метод заключается в определении значения  $K$ , при котором при визуализации функции ошибки SSE

происходит перегиб функции, после которого функция линейно уменьшается [5, 6].

Также стоит отметить, что евклидово расстояние, также известное как евклидова метрика, является часто используемой мерой расстояния в алгоритмах кластеризации, включая кластеризацию текста, и является мерой расстояния по умолчанию в алгоритме K-means. [7]

В другом исследовании [8] Fitri Andriyani и Yan Puspitayani исследуют точность кластеризации алгоритмами DBSCAN и K-means.

Методы предварительной обработки, используемые в данном исследовании — это токенизация, сложение регистров, удаление стоп-слов и стемминг. После предварительной обработки текстов были получены векторные модели TF-IDF данных отзывов. Кроме того, исследования точности кластеризации алгоритма DBScan проводилось путем подбора оптимального значения Eps.

## Данные для анализа и подготовка векторных моделей

Для проведения исследования алгоритмов кластеризации был собран датасет текстов, состоящий из 1800 текстов, который в свою очередь был разбит на 600 текстов по 3-м тематикам:

1. 600 текстов на тему: IT инновации;
2. 600 текстов на тему: образование;
3. 600 текстов на тему: политика.

Кроме того, каждая тема разбита по 200 текстов на 3 группы:

1. 200 больших текстов;
2. 200 средних текстов;
3. 200 маленьких текстов.

Исследование началось с внедрения инструментов обработки естественного языка. Главная задача которого заключалась в очистке текстовых данных через процессы токенизации, нормализации и удаления мусора.

Токенизация разделяет большое количество текста на более мелкие фрагменты, известные как токены (предложения, слова).

Нормализация текста заключается в приведении каждого слова к его базовой форме. В русском языке базовыми формами считаются следующие морфологические формы:

1. для существительных — именительный падеж, единственное число;
2. для прилагательных — именительный падеж, единственное число, мужской род;

- для глаголов, причастий, деепричастий — глагол в инфинитиве (неопределённой форме) несовершенного вида.

Для программной реализации данного этапа были применены готовые решения. В качестве основы была выбрана библиотека `rummy2`, а также библиотека `nltk`, из которой был взят словарь стоп-слов.

После обработки текстов необходимо было построить векторные модели текстов. Была выбрана векторная модель TF-IDF (частота слов — обратная частота документов).

Метод TF-IDF выделяет важность слова, основываясь на его частоте в конкретном документе и в других документах. Это позволяет задавать больший вес редко встречающимся словам по сравнению с часто встречающимися. Формула TF-IDF представлена в уравнении 2. [1, 9]

$$tf - idf(t, d, D) = tf(t, d) * idf(t, D) \quad (2)$$

где  $t$  — слово,  $d$  — конкретный документ,  $D$  — коллекция документов.

По формуле 3 можно рассчитать частоту вхождения слова в документ на обратную частоту документа.

$$tf - idf(t, d, D) = \frac{n_t}{\sum_k n_k * \log_{10} \frac{|D|}{\{d_i \in D | t \in d_i\}}} \quad (3)$$

где  $t$  — слово,  $d$  — конкретный документ,  $D$  — коллекция документов,  $n_t$  — количество вхождений слова в документ,  $\sum_k n_k$  — общее количество слов в документе,  $|D|$  —

количество документов,  $\{d_i \in D | t \in d_i\}$  — количество документов, в которых встречается слово  $t$ .

### Алгоритм DBSCAN

Данный алгоритм кластеризации группирует тесно лежащие точки в некотором пространстве. [10]

На вход алгоритма поступает 2 значения:

- $\epsilon$ -окрестность — это радиус окружности, который задается для нахождения соседей вокруг точки;
- $minPts$  — минимальное количество соседей, для добавления данной точки в список основных точек.
- На рисунке 1 схематически показана  $\epsilon$ -окрестность точки. Все точки, находящиеся в пределах  $\epsilon$ -окрестности будут являться соседями данной точки.

Алгоритм [11] работает таким образом, что сначала проводится обход по всем точкам, а затем собираются

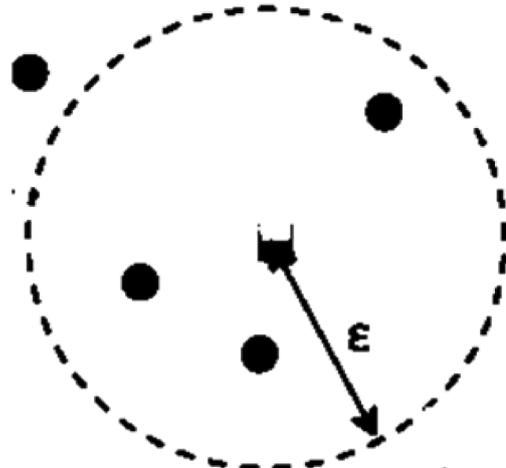


Рис. 1.  $\epsilon$ -окрестность точки

соседей каждой точке. После этого создается список основных точек, в который войдут только те точки, у которых количество соседей не меньше, чем  $minPts$ . Следом будет создан список неиспользованных точек, из которого далее удалятся те точки, которые объединятся в кластер.

Затем алгоритм случайным образом выбирает из основных точек одну, которая также есть в списке неиспользованных точек, создает для этой точки новый кластер и добавляет в этот кластер соседей основной точки. Если среди этих соседей находятся еще точки из списка основных точек, то в кластер добавляются и их соседи. Так происходит пока в соседях основных точек, которые попали в кластер, не останется ни одной точки из списка основных точек, не добавленных в этот кластер.

Процедура с выбором случайной точки из списка основных точек продолжается до тех пор, пока в списке основных точек не останется ни одной точки из списка неиспользованных.

### Алгоритм Affinity Propagation

Алгоритм Affinity Propagation (AP) [12, 13] принадлежит к классу неиерархических методов кластеризации и не требует заранее заданного числа кластеров. Он итеративно выбирает образцы из входных данных, которые наиболее репрезентативны для кластера, и максимизирует сходство между объектами и выбранными образцами для поиска кластеров.

Алгоритм получает два набора данных:

- матрицу расстояний между объектами;
- значения предпочтений, которые отражают степень пригодности каждого документа в качестве центра кластера.

Оба набора данных объединяются в матрицу расстояний  $S$  размерности  $n \times n$ , где  $n$  — количество объектов в коллекции.

Главная диагональ матрицы  $S$  соответствует предположениям. Расстояния могут быть опущены или установлены как минус бесконечность, если объекты не подходят для образования одного кластера.

Алгоритм кластеризации выполняется итерационно, каждая итерация состоит из двух шагов:

1. на первом шаге происходит расчет матрицы «ответственности» —  $R$  (формула 3);
2. на втором шаге расчет матрицы «доступности» —  $A$  (формула 4).
3. Изначально матрицы  $R$  и  $A$  инициализируются нулями.

$$r(i, k) = s(i, k) - (a(i, k') + s(i, k')) \quad (4)$$

где  $i, k$  — рассматриваемые объекты,  $k'$  — остальные образцы  $k$ , кроме текущего.

$$\left\{ a(i, k) = \min \left\{ 0, r(k, k) + \sum_{i \in \{i, k\}} \max(0, r(i, k)) \right\} \right\} \quad (5)$$

для  $i \neq k$ , где  $i, k$  — рассматриваемые объекты

Итоговые образцы извлекаются по формуле 6 из матриц  $R$  и  $A$ :

$$c_i = \arg(a(i, k) + r(i, k)) \quad (6)$$

где  $i, k$  — рассматриваемые объекты,  $c_i$  — образец для объекта  $i$ .

Количество итоговых образцов равняется количеству кластеров, каждый образец является центром своего кластера.

#### Алгоритм k-means

K-means один из популярных алгоритмов кластеризации, который разбивает набор значений на  $k$  заданных кластеров, где каждое значение принадлежит к кластеру с ближайшим средним значением (центроиду). [14]

Данный алгоритм работает следующим образом:

1. алгоритм начинает с первоначального предположения о центрах кластеров. Эти центроиды обычно выбираются случайным образом;
2. каждый объект относится к кластеру, центроид которого находится ближе всего к нему. Для вычисления расстояния между объектами применяется евклидово расстояние (формула 7);
3. центроиды кластеров обновляются, путем нахождения среднего объекта (центра) в уже сформированном кластере (формула 8).

$$d = \sum_i^{N_A} (A_{i_2} - A_{i_1})^2 \quad (7)$$

$$(a'; b'; \dots; z') = \left( \frac{\sum a_i}{n_a}; \frac{\sum b_i}{n_b}; \dots; \frac{\sum z_i}{n_z} \right) \quad (8)$$

Шаги 2 и 3 повторяются до того момента, пока не будут распределены все точки по кластерам и центроиды не перестанут изменяться.

Данный алгоритм имеет множество недостатков, самый главный из них, это то, что он предполагает, что кластеры сферические и имеют одинаковую форму, тем самым он очень чувствителен к выбросам, так как из-за них центроиды кластеров будут смещены от оптимального значения, тем самым кластеры будут сформированы неточно. И не менее важно, что количество кластеров, которые необходимо сформировать пользователь выбирает сам.

#### Исследование точности и полноты кластеризации

Перед началом проведения исследования и кластеризации текстов необходимо определить, что будет считаться точностью и полнотой кластеризации.

В данном исследовании точность кластеризации рассчитывалась, как количество элементов одного кластера, правильно кластеризованных (распределенных) в этот кластер, деленное на общее количество элементов в данном кластере.

Полнота была рассчитана для каждого кластера отдельно, где полнота кластера — это количество правильно кластеризованных элементов данного кластера деленное на общее количество элементов кластера. После чего полученные значения полноты складываются и делятся на количество кластеров, составляющих один большой кластер.

Данный расчет необходим из-за того, что после кластеризации алгоритмами DBSCAN и Affinity-Propagation количество кластеров значительно больше изначального.

Результаты кластеризации текстов малого размера алгоритмами DBSCAN, Affinity Propagation и K-means представлены на рисунках 2, 3, 4, а все результаты исследования приведены в таблице 1.

Для алгоритма DBScan Значение  $\epsilon$ -окрестности и minPts равны 2,6 и 3 соответственно, а для алгоритма K-means,  $k = 3$ .

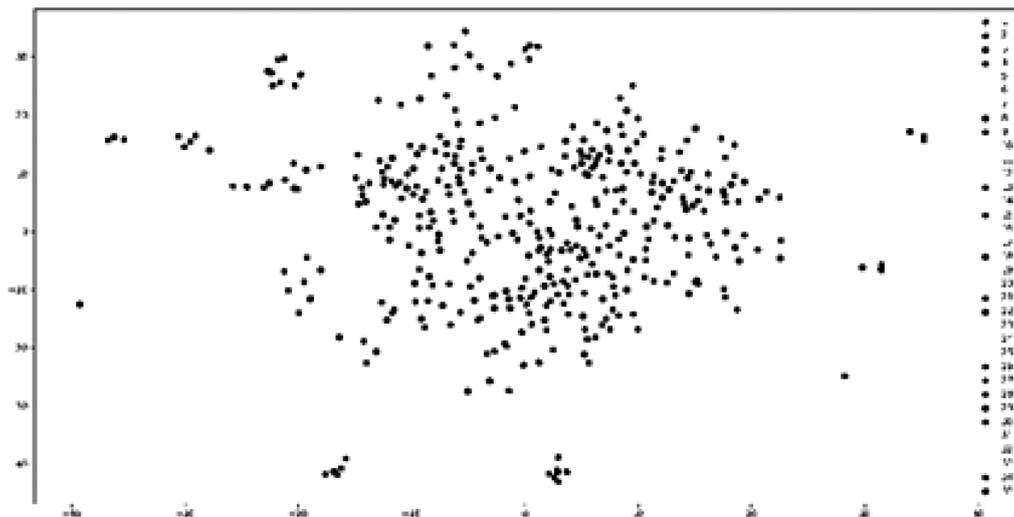


Рис. 2. Визуализация результатов кластеризации с использованием алгоритма DBScan на текстах малого размера

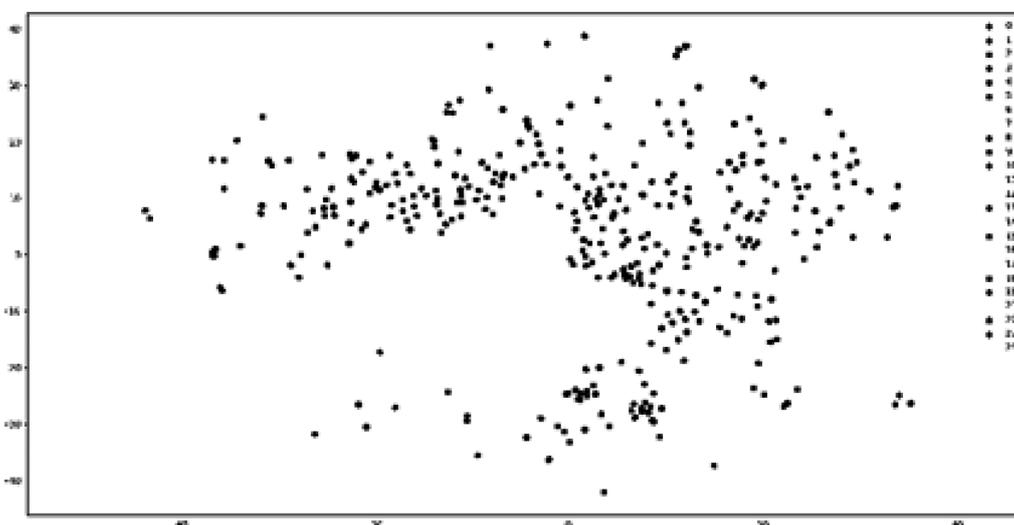


Рис. 3. Визуализация результатов кластеризации с использованием алгоритма Affinity Propagation на текстах малого размера

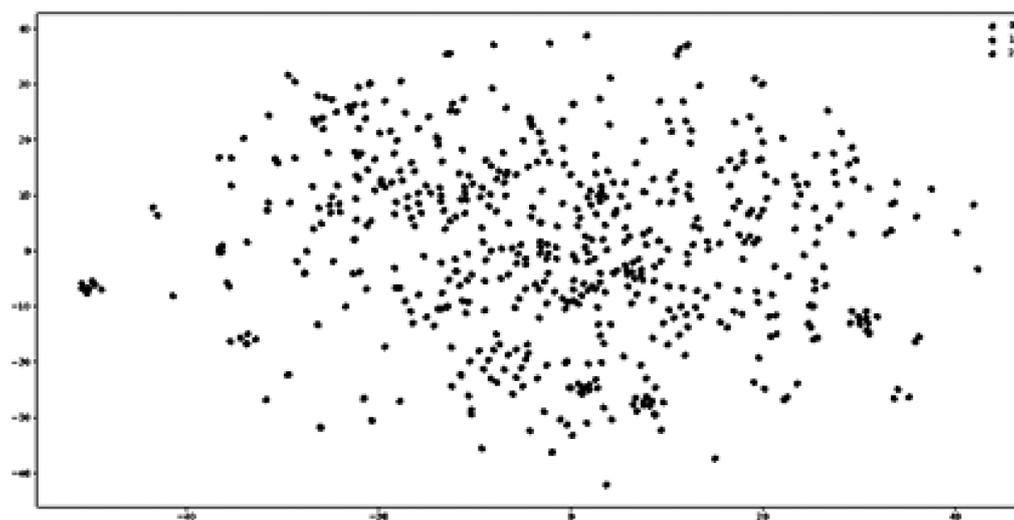


Рис. 4. Визуализация результатов кластеризации с использованием алгоритма K-means на текстах малого размера

Таблица 1.

Результаты кластеризации

Дата-сет	Тексты	точность / полнота	Алгоритмы		
			DBScan	Affinity Propagation	K-means
Маленькие	IT инновации	точность	0,82	0,91	0,74
		полнота	0,08	0,11	0,79
	Образование	точность	0,22	0,69	0,86
		полнота	0,02	0,10	0,76
	Политика	точность	0,45	0,86	0,85
		полнота	0,03	0,10	0,86
Средние	IT инновации	точность	0,85	0,83	0,79
		полнота	0,11	0,10	0,78
	Образование	точность	0,37	0,82	0,88
		полнота	0,03	0,12	0,80
	Политика	точность	0,48	0,96	0,88
		полнота	0,04	0,11	0,83
Большие	IT инновации	точность	0,86	0,86	0,83
		полнота	0,11	0,11	0,80
	Образование	точность	0,33	0,80	0,64
		полнота	0,03	0,09	0,52
	Политика	точность	0,31	0,92	0,97
		полнота	0,02	0,10	0,48

Исходя из полученных результатов можно сказать, что алгоритмы K-means и Affinity Propagation показали хорошие результаты на текстах всех размерностей.

Алгоритм DBScan показал плохой результат, и это можно объяснить тем, что полученные изначально век-

тора не совсем пригодны для кластеризации данным алгоритмом, ведь плотность скопления данных во всех местах примерно одинаковая, что делает практически невозможным применение данного алгоритма.

Для K-means же получилась очень благоприятная ситуация, ведь наши изначальные данные в некоторой степени напоминали круги, а данный алгоритм формирует сферические кластеры.

**Заключение**

В результате данного исследования можно сделать выводы, что алгоритмы кластеризации K-means и Affinity Propagation показали хорошие результаты по точности кластеризации текстовых данных.

Средняя точность кластеризации алгоритмом Affinity Propagation — 85 %, в то время как у алгоритма K-means 81.5 %, алгоритм же DBScan в среднем кластеризует текстовые данные с точностью 52 %.

Но если рассмотреть алгоритмы в плане полноты кластеризации, то в этом аспекте алгоритм K-means превзошел алгоритмы DBScan и Affinity Propagation в несколько раз. Средняя полнота кластеризации алгоритмом K-means — 78 %.

Исходя из этих данных можно сделать вывод, что для кластеризации текстовой информации лучше всего использовать алгоритм K-means или Affinity Propagation, но все же стоит отметить, что если разработать алгоритм, который будет объединять схожие кластеры в один, то результат полноты у Affinity Propagation будет не меньше, чем у K-means.

ЛИТЕРАТУРА

1. Go Machine Learning Projects / Oreilly, by Xuanyi Chew, Released November 2018, Publisher(s): Packt Publishing, ISBN: 9781788993401
2. Stiphen Chowdhury, Na Helian, Renato Cordeiro de Amorim Feature weighting in DBSCAN using reverse nearest neighbours // Pattern Recognition, January 2023
3. Lin Xiang, Application of an Improved TF-IDF Method in Literary Text Classification // Advances in Multimedia, May 2022
4. Ashwini K.S., Shantala C.P., Tony Jan, Impact of Text Representation Techniques on Clustering Models // February 22.02.2022
5. Hasugian P.M. et al. Best cluster optimization with combination of K-means algorithm and elbow method towards rice production status determination // International Journal of Artificial Intelligence Research. — 2021. — Т. 5. — №. 1. — С. 102–110.
6. Jaafar B.A., Gaata M.T., Jasim M.N. Home appliances recommendation system based on weather information using combined modified k-means and elbow algorithms // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. — 2020. — Т. 19. — №. 3. — С. 1635–1642.
7. Majid Hamed Ahmed, Sabrina Trun, Nor S Sani, Nazila Omar, Short Text Clustering Algorithms, Application and Challenges: A Survey. // Applied Sciences December 2022
8. Fitri Andriyani, Yan Puspitarani, Performance Comparison of K-Means and DBSCAN Algorithms for Text Clustering Product Reviews. // SinkrOn, July 2022
9. Natural Language Processing in Action video edition [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.oreilly.com/library/view/natural-language-processing/9781617294631VE/> (дата обращения 20.04.2024).
10. Birant D., Kut A. ST-DBSCAN: An algorithm for clustering spatial-temporal data // Data & knowledge engineering. — 2007. — Т. 60. — №. 1. — С. 208–221.
11. Khan K. et al. DBSCAN: Past, present, and future // The fifth international conference on the applications of digital information and web technologies (ICADIWT 2014). — IEEE, 2014. — С. 232–238.
12. Wang K. et al. Adaptive affinity propagation clustering // arXiv preprint arXiv:0805.1096. — 2008.
13. Shang F. et al. Fast affinity propagation clustering: A multilevel approach // Pattern recognition. — 2012. — Т. 45. — №. 1. — С. 474–486.
14. Huang Z. Extensions to the k-means algorithm for clustering large data sets with categorical values // Data mining and knowledge discovery. — 1998. — Т. 2. — №. 3. — С. 283–304.

© Хайров Марат Русланович (khaurov\_mr@pfur.ru); Сабирова Динара Илхомовна (khaurov\_mr@pfur.ru);  
Новикова Дарья Сергеевна (khaurov\_mr@pfur.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЦИФРОВОЙ АВТОНОМИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОДУКТА

## METHODOLOGY FOR ASSESSING INFORMATION PRODUCT DIGITAL AUTONOMY LEVEL

**A. Tsaregorodtsev  
I. Mukhin  
S. Volkov**

*Summary.* The digitalization of society has led to the spread of state sovereignty in the field of information and communications technologies. This has resulted in the emergence of the concept of digital state sovereignty. However, in critical areas of society, states depend on digital services and ICT components, which they cannot control. This could lead to potential negative consequences such as restricted or denied access to information, a decrease in information security, and possible remote shutdowns of software functions. Therefore, it is important for states to develop their own information products that have a high level of digital independence in terms of digital sovereignty. This article proposes a methodology for assessing information product digital autonomy level, which allows us to understand the level of sovereignty of an information product necessary for making further decisions related to the product.

*Keywords:* digital sovereignty, digitalization of society, information security, information product, import substitution.

**Царегородцев Анатолий Валерьевич**

*Доктор технических наук, профессор, директор, ФГАОУ  
ВО Российский университет дружбы народов, г. Москва  
tsaregorodtsev\_av@pfur.ru*

**Мухин Илья Николаевич**

*Специалист, старший преподаватель, ФГАОУ ВО  
Российский университет дружбы народов, г. Москва  
mukhin\_in@pfur.ru*

**Волков Сергей Дмитриевич**

*Заместитель директора, ФГАОУ ВО Российский  
университет дружбы народов, г. Москва  
volkov\_sd@pfur.ru*

*Аннотация.* С цифровизацией общества государственный суверенитет все больше распространяется и на сферу информационно-коммуникационных технологий, что привело к появлению понятия цифрового суверенитета государства. В важнейших сферах жизни общества государство так или иначе зависит от цифровых услуг, ИКТ и их компонентов, разработка, производство и эксплуатация которых находятся вне его собственного контроля. Это приводит к потенциальным негативным последствиям, связанным с ограничением или полным отказом в доступе к информационным ресурсам и данным, существенному снижению уровня информационной безопасности ИКТ, возможному удаленному отключению программных функций. Именно поэтому государственно важной задачей является разработка собственных информационных продуктов, обладающих высоким уровнем цифровой автономии с точки зрения цифрового суверенитета. В данной статье предлагается методика оценки уровня цифровой автономии информационного продукта, позволяющая понять уровень его суверенизации, необходимый для принятия дальнейших решений, связанных с продуктом.

*Ключевые слова:* цифровой суверенитет, цифровизация общества, информационная безопасность, информационный продукт, импортозамещение.

Цифровой суверенитет в настоящее время является предметом дискуссий на всех политических уровнях — от национальных площадок до уровня ООН. Этот термин так популярен, поскольку представляет собой, своего рода, ландшафт на поверхность которого проецируются разнообразные стратегические инициативы и политические требования различных государств. Говорить об устоявшемся сегодня уровне понимания масштабов ландшафта цифрового суверенитета сложно, потому целесообразно рассматривать его в качестве открытой динамичной структуры, состоящей из различных компонент суверенизации, которая может изменяться в зависимости от решаемой государством задачи. Ландшафт цифрового суверенитета может быть представлен, в том числе, следующими компонентами, представленными на рисунке 1, хотя едва ли можно претендовать на полноту данной модели.

Тот факт, что зависимость от источников сырья, рынков, решений иностранных правительств и отсутствие проработанных механизмов международного регулирования может негативно сказаться на выполнении государственных задач продемонстрировала, не в последнюю очередь, жёсткая конкуренция в процессе разработки вакцины и международная конкуренция за рынки сбыта медицинских товаров в период пандемии COVID-19. В этой связи цифровые технологии заслуживают особого внимания, поскольку интегрированы в сложные сети взаимозависимостей между государствами и выполняют системообразующие интегральные функции, обеспечивая государства способностью принимать решения и воплощать их в жизнь. Целью целенаправленных действий по обеспечению цифрового суверенитета государства является независимый, самостоятельный и безопасный доступ к цифровым техноло-

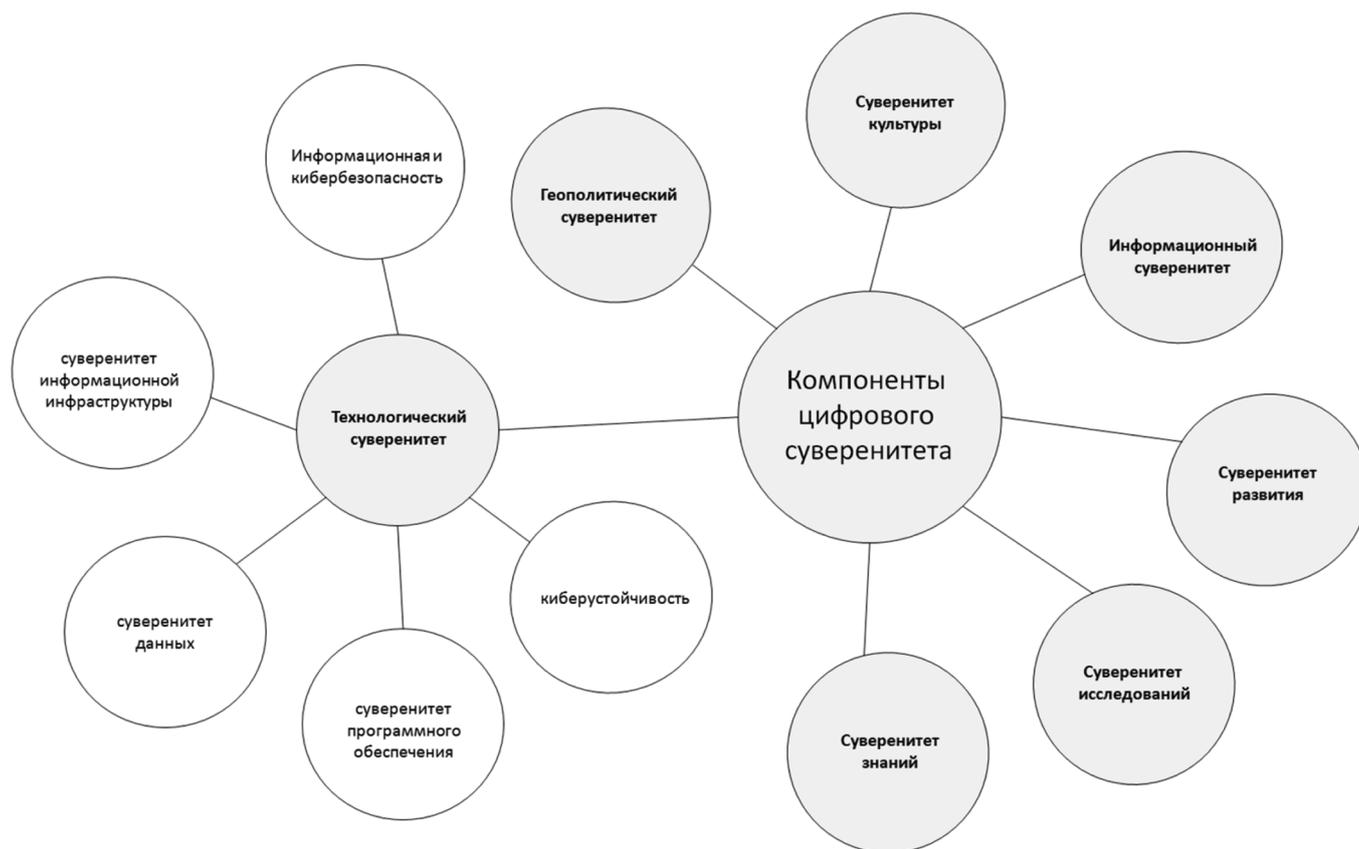


Рис. 1. Компоненты цифрового суверенитета

гиям, чтобы государство могло надежно предоставлять, прежде всего, общественные услуги, и снимать любые ограничения свободы в принятии решений на международной арене из-за отсутствия доступа к цифровым технологиям или недостаточного контроля над ними.

Государственные меры по сдерживанию COVID-19 показывают, что это далеко не интеллектуальные игры: некоторые производители операционных систем для мобильных устройств, вопреки намерениям ряда европейских стран, отказались открывать свои интерфейсы для развёртывания архитектуры и подключения к единой базе данных предупреждения о коронавирусе. Таким образом, эти государства не могли разрешить противоречие в вопросах взаимодействия с частными технологическими компаниями, а именно, защиты интеллектуальной собственности, персональных данных с необходимостью введения экстренных мер раннего предупреждения и защиты от коронавирусной инфекции.

С цифровизацией общества государственный суверенитет все больше распространяется и на ИКТ. Поэтому цифровой суверенитет не следует отбрасывать как модный цифровой политический термин, но следует понимать, как постоянную государственную задачу по созданию и расширению возможностей государства за счет

осознанного стратегического управления уровнем технологической зависимости.

В важнейших сферах жизни общества государство так или иначе зависит от цифровых услуг, ИКТ и их компонентов, разработка, производство и эксплуатация которых в значительной степени находятся вне его собственного контроля. Такие зависимости, в частности, прослеживаются для проприетарных программных продуктов во всех отраслях экономики. Технологическая зависимость приводит к потенциальным негативным последствиям, связанным с ограничением или полным отказом в доступе к информационным ресурсам и данным, существенному снижению уровня информационной безопасности ИКТ, возможному удаленному отключению программных функций. Утрата технологического суверенитета создаёт основания для формулирования новых угроз национальной безопасности:

- технологическая зависимость в рамках цифровой трансформации может привести к потере международной конкурентоспособности национальных отраслей экономики;
- технологическая зависимость существенно осложняет юридическую защиту крупных национальных технологических компаний на международной арене.

Позиционирование системно-определяющей функции современных ИКТ связано с политическим осознанием системной значимости ИКТ практически для всех сфер деятельности государства. Реализация целей достижения высокого уровня конкурентоспособности экономики государства напрямую зависят от динамики развития цифровой индустрии. Вместе с тем, неустойчивость международных отношений, связанная с объективными факторами отсутствия чётко определённых зон ответственности государств в ИКТ среде, отсутствия технического регулирования, общепризнанных международных правовых норм, отсутствия единого понимания термина «инцидент» в киберпространстве способствует формированию такой среды, в которой международные организации, международные соглашения и даже межправительственные союзы теряют свою обязательную силу. Увеличивается уровень политизированности международных торговых отношений, включая цифровые услуги и информационные продукты. Логика рыночных отношений трансформируется, цифровые структуры все чаще признаются в качестве инструментов ценностной политики и международного влияния. Технологическая основа цифровой трансформации глобальных рынков характеризуется сложными системами взаимодействия на основе программного обеспечения в составе сложных ИКТ-систем. Примером может служить технология 5G, которая не является прозрачной для операторов сотовой связи и частично находятся вне их контроля. Таким образом можно сформулировать ключевые предпосылки формирования сфер государственного контроля в отношении цифрового суверенитета:

- необходимость управлять сложными ИКТ;
- глубокое осознание системно-определяющей функции ИКТ;
- анализ новых вызовов цифровой геополитики;
- ослабление международного порядка, связанное с отсутствием единых общепризнанных международных правовых норм.

Цифровые приложения тесно вплетены в единую сеть технологических зависимостей, отдельные компоненты этой сети обеспечены международным разделением труда и сотрудничеством. Эта деятельность обеспечивается большим количеством технических и организационных зависимостей, в основе которых лежат комбинации компонентов ИКТ — технологических пакетов. В общем виде технологический пакет может состоять из набора компонент — сетей, оборудования, программного обеспечения, данных и платформ. Компоненты, используемые для предоставления цифровых услуг, могут различаться на разных этапах процесса их предоставления потребителю, обеспечивая целостный процесс их предоставления. Для предоставления услуги используются различные программные компоненты, операционные системы, серверные операционные системы или специализированное программное обеспечение, а так-

же различные сети для передачи данных или различное оборудование, такое как ПК, маршрутизаторы, смартфоны и т. п. Технологический пакет, обеспечивающий предоставление государственной услуги, включает в себя все технические компоненты на каждом отдельном этапе процесса предоставления услуг. Любые организационные изменения процесса предоставления услуг могут привести к изменениям в технологическом пакете.

Сегментация технологического пакета является, в некотором роде, абстракцией, поскольку в реальных системах эти сегменты практически невозможно отличить друг от друга. Интернет функционирует в пространстве многих технологических зависимостей, но при ближайшем рассмотрении, отдельные его компоненты можно классифицировать в качестве платформ, объединяющих сегменты сетей, которые, в свою очередь, состоят из своих собственных технологических пакетов, представленной собственной инфраструктурой. Современные цифровые технологии основаны на сложной системе иерархии ИКТ, что обуславливает необходимость использования в качестве механизма управления уровнем суверенитета в цифровой сфере контрольные процедуры, но не полное избегание зависимостей.

Информационные продукты и цифровые услуги являются результатом длинных цепочек создания ценности, отдельные этапы которых — от замысла и исследования продукта до вывода его в промышленную эксплуатацию, имеют свои специфические требования к обеспечению цифрового суверенитета государства.

Достаточно ли иметь национальную базу данных собственной разработки, которая является компонентом стратегически важной государственной услуги населению, в случае, когда другие компоненты технологического пакета обеспечиваются внешним поставщиком? Является ли стратегически важным снижение уровня зависимости и усиление контроля со стороны государства для внешних поставщиков программного обеспечения, которое не участвует в осуществлении деятельности ГИС? Насколько необходимо снизить зависимость от внешних исследовательских институтов, чтобы обеспечить национальный патент на инновационную разработку? В тех случаях, когда общие зависимости могут проявляться в предоставлении и использовании цифровых приложений или когда могут возникнуть различные требования с точки зрения цифрового суверенитета, следует описывать компоненты проявлений цифрового суверенитета, которые следуют из общей технологической цепочки создания ценности для обеспечения процесса предоставления цифровой услуги. Исходя из этого, можно предложить набор измерений цифрового суверенитета, в границах которого распространяться система принятия решений, действий или стратегическое целеполагание в цифровой среде (рисунок 2).

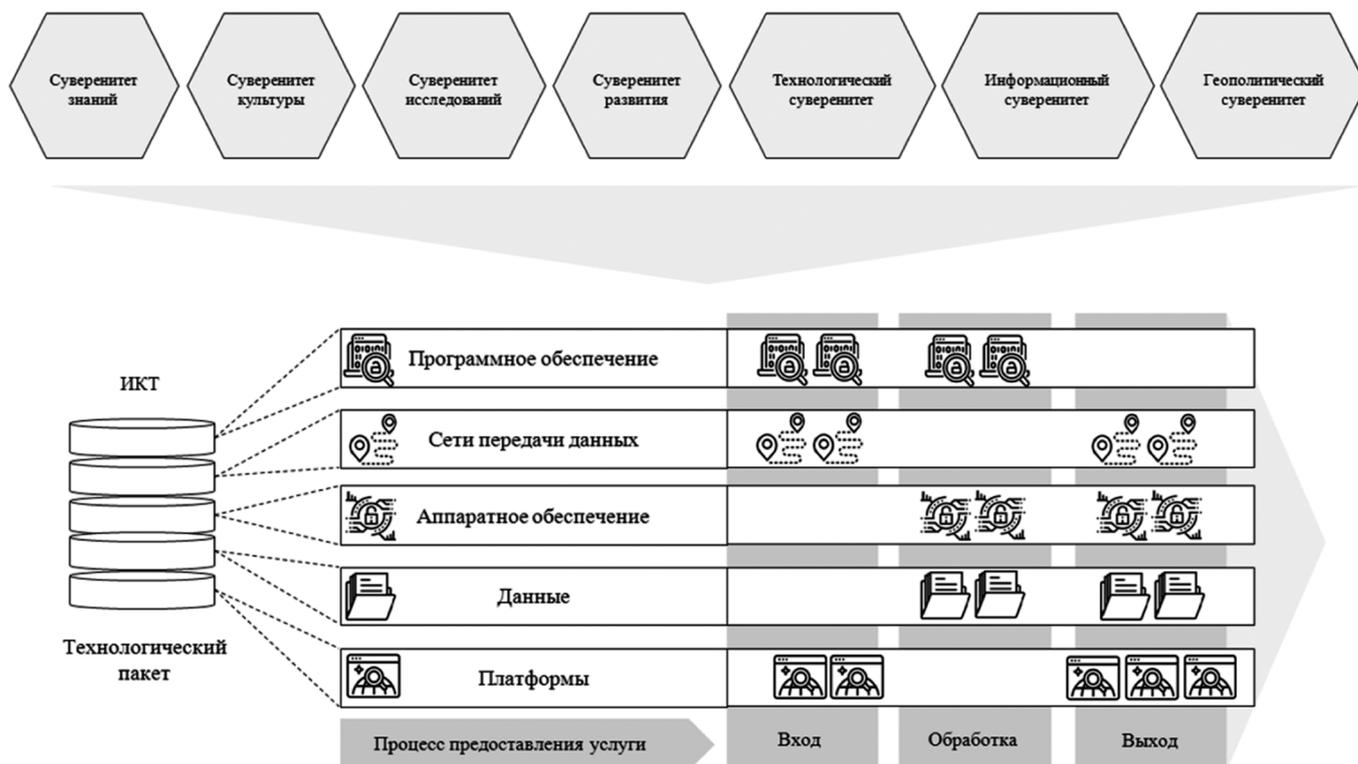


Рис. 2. Уровни обеспечения цифрового суверенитета

В данной статье в качестве набора измерений цифрового суверенитета представлены и рассматриваются следующие компоненты:

- суверенитет знаний;
- культурный суверенитет;
- суверенитет научно-исследовательской деятельности;
- суверенитет развития;
- технологический суверенитет;
- информационный суверенитет;
- геополитический суверенитет.

Суверенитет знаний утверждает право государства иметь доступ к глобальным информационным ресурсам, изучать свойства компонент международной цифровой инфраструктуры, получать экспертные заключения от иностранных специалистов, беспрепятственно обмениваться информацией и накапливать знания в процессе обучения и повышения квалификации граждан.

Культурный суверенитет утверждает право государства руководствоваться ценностями и нормами поведения, которые выработаны в ходе исторического развития народа, страны. Стратегическая цель государства в контексте культурного суверенитета формулируется как недопущение использования сферы культуры для нанесения ущерба национальному государственно-политическому суверенитету и территориальной целостности страны.

Суверенитет научно-исследовательской деятельности утверждает право государства на свободу выбора проводить научные изыскания, продвигать результаты национальных научных исследований в среде мирового научного сообщества, иметь доступ к международным научным ресурсам (алгоритмам, вычислительным мощностям и т. д.), иметь возможность сотрудничества и беспрепятственного обмена результатами научно-исследовательской деятельности в масштабах мирового научного сообщества.

Суверенитет развития утверждает право государства на свободу в выборе концепций, дизайна, способов реализации продуктов и сервисов в сфере высоких технологий, доступ к ресурсам для разработки и испытаний прототипов, доступ к необходимым знаниям в специализированных областях, имеющих отношение к продуктам и сервисам, адаптацию продуктов и сервисов внешних поставщиков к собственным требованиям, наличие доступа к инструментам разработки, программным библиотекам и экспертам.

Технологический суверенитет утверждает право государства на наличие политической точки зрения, согласно которой информационная и коммуникационная инфраструктура и технологии соответствуют законам, потребностям и интересам страны, в которой находятся потребители продуктов и услуг.

Информационный суверенитет утверждает право государства самостоятельно формировать информаци-

онную политику, распоряжаться информационными потоками, обеспечивать информационную безопасность независимо от внешнего влияния. Информационный суверенитет включает в себя любые компоненты, связанные с информационной сферой государства.

Геополитический суверенитет утверждает право государства на суверенную целостность и независимость в вопросах формирования внешней и внутренней политики, международных отношений, политических, военно-стратегических, экологических, экономических аспектах деятельности государства.

Рассмотрение различных аспектов суверенитета и сопоставление их с компонентами технологического пакета создает набор возможных зависимостей и факторов риска, которые необходимо учитывать при стратегическом управлении цифровыми сервисами. Прежде всего, рассматривается каждый технический компонент технологического пакета цепочки услуг. В отношении каждого из компонент цифрового суверенитета рассматриваются уровень значимости его влияния на компоненты технологического пакета (рисунок 3). Подобный взгляд на измерения уровня суверенитета приводит к выводу об уровне суверенитета или автономии данного компонента в отношении внешнего участия и позволяет оценить риск цифровой автономии с точки зрения отдельных технических компонентов информационного продукта в целом. Данные оценки должны быть взвешены в отношении уровня критичности технического компонента для всей цепочки услуг. Результатом анализа станет уровень цифровой автономии услуги, как части информационного продукта в целом, что позволит, в том числе, оценить объём импортозамещения для безопасного использования данной услуги и информационного

продукта. Допустим, что все программные компоненты, используемые в цепочке предоставления услуги в рамках информационного продукта, разрабатываются внутренним (локальным) поставщиком, изначально это характеризует высокую степень цифровой автономии услуги. Если предположить, что отдельные экземпляры программного обеспечения зависят от поставщика, юридически размещённого вне национального правового поля (внешний поставщик), то общая цифровая автономия снижается, увеличивая риск суверенности цифрового продукта, в структуру которого входит эта услуга.

Уровень цифровой автономии оценивается с точки зрения интересов государства. Чем выше стратегическая значимость услуги, тем выше уровень цифровой автономии, что необходимо учитывать уже на стадии замысла и создании услуги. Важность отдельных технических компонентов для создания государственной услуги может быть использована для определения их приоритета в плане создания возможности безраздельного управления услугой. Добиться большего контроля со стороны государства, для приоритетных технических компонентов возможно, используя механизм оценки влияния компонентов цифрового суверенитета на технологический пакет для каждого технического компонента на стадиях жизненного цикла услуги. Баланс между критичностью компонентов, принимающего участие в предоставлении услуг, с одной стороны, и экономической эффект, качество предоставления услуги, с другой, даёт возможность провести взвешенную оценку при выборе локального и внешнего поставщика услуг. Подход, основанный на анализе риска, позволяет разработать адекватные механизмы контроля.

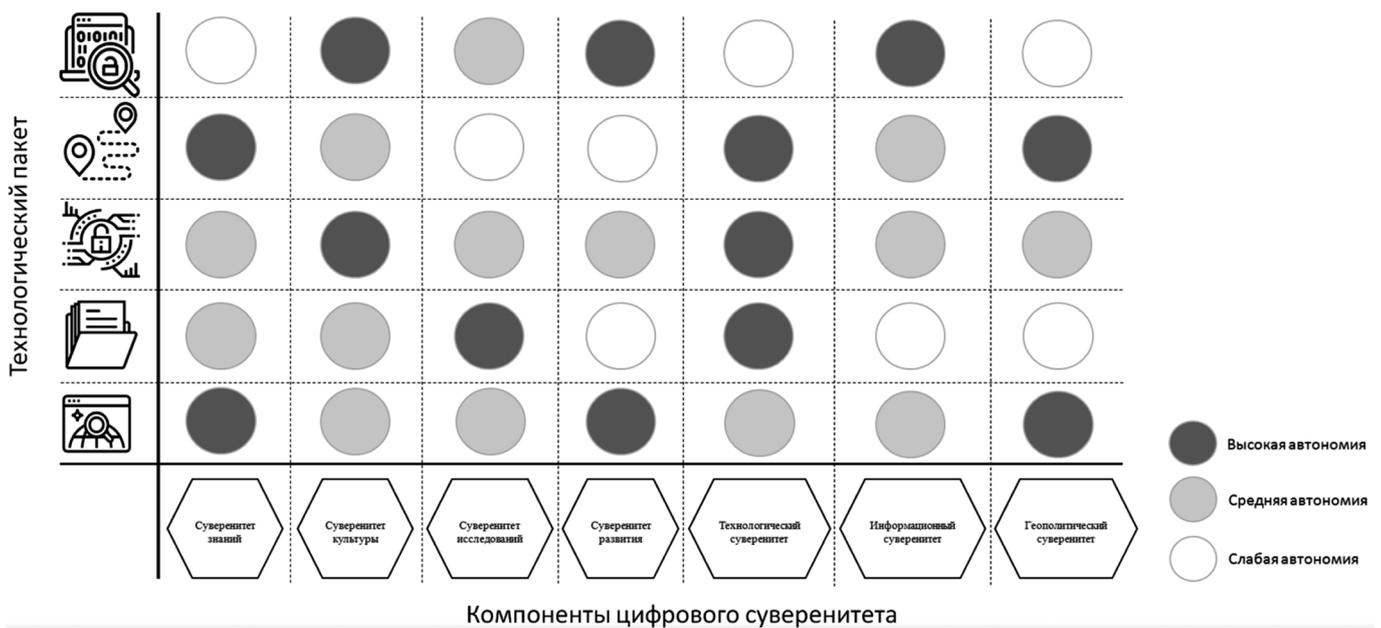


Рис. 3. Матрица для оценки степени цифровой автономии

В рамках данной статьи разработан алгоритм (рисунк 4) оценки уровня цифровой автономии продукта, в состав которого входит набор цифровых услуг и компонентов технологического пакета ИКТ. Развитием подхода к оценке уровня цифровой автономии продукта должна стать методика оценки рисков цифровой автономии продукта, которая позволит всесторонне оценить внешние и внутренние зависимости компонентов продукта (цифровые услуги и сервисы) и компонентов технологического пакета ИКТ от факторов риска цифровой автономии. Перспективным видится создание единой автоматизированной системы и базы данных компонент цифрового суверенитета. Учитывая большой объём данных в масштабах государства и динамику модификации таких данных, для разработки интерфейса взаимодействия с АС целесообразно использовать технологии обработки больших данных, включая инструменты обучения искусственного интеллекта.

Рассмотрим методику определения уровня цифровой автономии продукта.

**На первом шаге** проводится анализ функций компонентов информационного продукта и оценка уровня их стратегической значимости. Критерии стратегической значимости в терминах обеспечения цифрового суве-

ренитета должны формироваться исходя из ключевых целей и задач, в рамках которых разрабатываются и реализуются компоненты продукта — цифровые услуги и сервисы, массовости использования продукта населением государства, значимости для обеспечения институтов государственной власти, народного хозяйства, науки и образования, обеспечения безопасности и обороноспособности государства и пр. Источниками формирования критериев, в том числе, должны служить:

- нормативные акты в сфере управления экономикой;
- нормативные акты в сфере социальной политики;
- нормативные акты в сфере обеспечения законности, прав и свобод граждан;
- нормативные акты в сфере обеспечения обороны страны, государственной безопасности, реализации внешней политики государства.

Результатам первого шага должны стать разработанные критерии оценки уровня стратегической значимости данного информационного продукта.

**На втором шаге** проводится анализ состава и оценка уровня стратегической значимости компонентов технологического пакета ИКТ информационного продукта. Наряду с принципами, заложенными в основу оценки

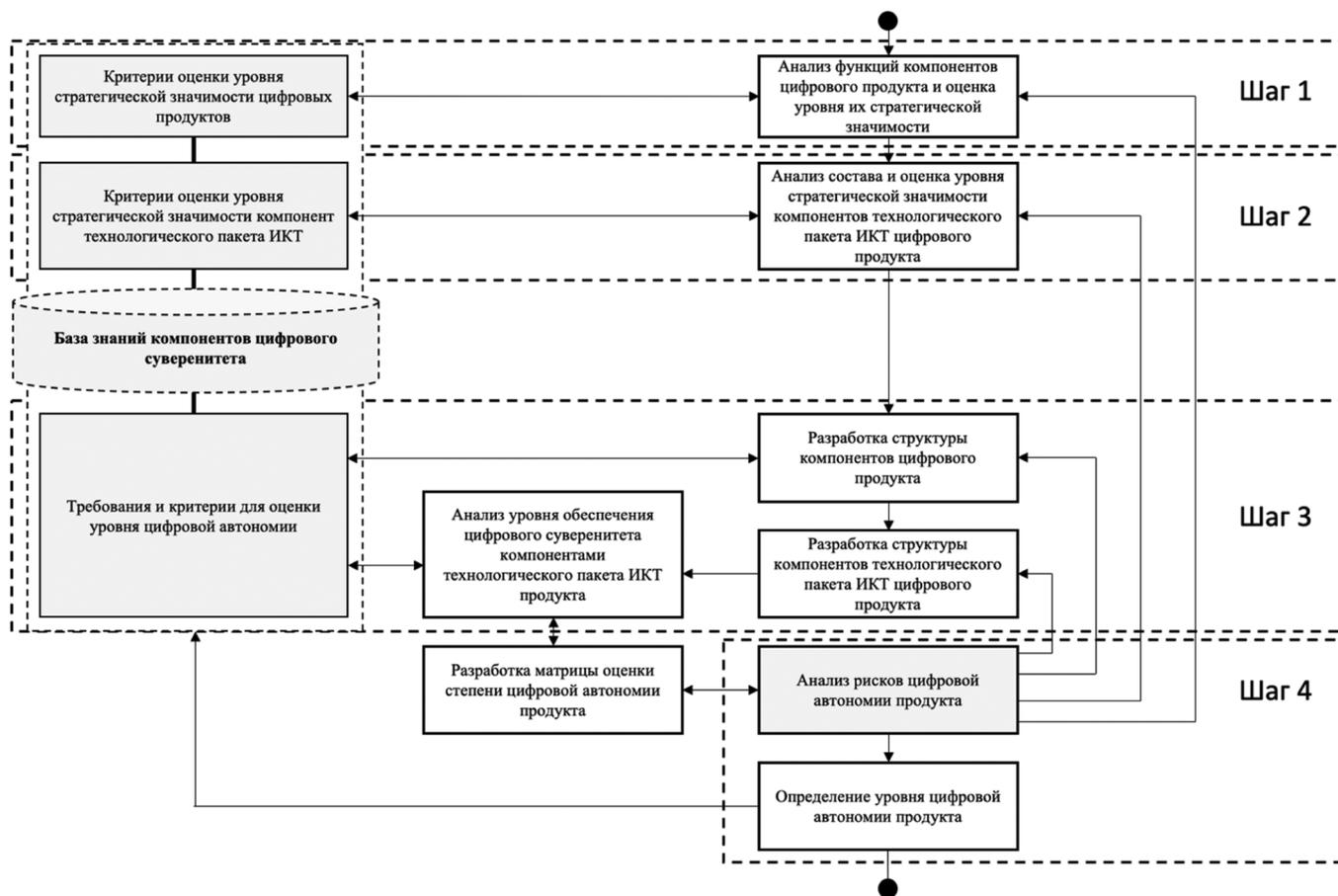


Рис. 4. Алгоритм оценки уровня цифровой автономии информационного продукта

стратегической значимости цифровых услуг, обеспечивающие процесс ИКТ должны, также, оцениваться на предмет их принадлежности к объектам критической информационной инфраструктуры (КИИ), учёта релевантных отраслевых норм и стандартов, требований к безопасности, живучести, киберустойчивости, инновационности компонент их уникальности, технологическим особенностям применения (например, совместимость, взаимозаменяемость компонент) и пр.

Результатам второго шага должны стать разработанные критерии оценки уровня стратегической значимости компонентов технологического пакета ИКТ, обеспечивающих деятельность информационного продукта и его компонентов.

**На третьем шаге** проводится разработка структуры компонентов информационного продукта и анализ уровня обеспечения цифрового суверенитета компонентами технологического пакета ИКТ продукта.

Результатам третьего шага должна стать составленная матрица для оценки степени цифровой автономии компонентов информационного продукта.

**На четвёртом шаге** проводится анализ матрицы для оценки степени цифровой автономии и определяется уровень цифровой автономии продукта. Под уровнем цифровой автономии информационного продукта ( $L$ ) следует понимать способность продукта обеспечить надлежащее качество цифровых услуг, в том числе, за счёт частичного или полного использования заимствованных компонентов технологического пакета ИКТ, но при условии безусловной компенсации этого заимствованного объёма в случае отказа внешнего поставщика от сотрудничества:

$$L = \frac{(C - I)}{(C + I)} \times 100\% \quad (1)$$

где  $C$  — компонента собственной разработки как признак суверенного лидерства,  $I$  — компонента заимствования как форма использования зарубежных достижений.

Числитель показателя определяет долю отечественного производителя в информационном продукте и свидетельствует об уровне собственных (национальных) технологий в его реализации. Положительная величина доли участия отечественного производителя — свидетельство высокой конкурентоспособности информационного продукта, при условии наличия такой конкуренции на внешнем рынке, при его отсутствии — показатель собственной цифровой автономии продукта. Знаменатель показателя характеризует уровень заимствованных технологий, долю интеграции продукта во внешнеэкономической деятельности или, в терминах цифровой суверенности, характеризует уровень интеллектуальной

изоляции или внешней зависимости информационного продукта.

Значение показателя представляется в процентном виде в пределах  $[-100\%, 100\%]$ . Отрицательное значение показателя свидетельствует о преобладании заимствованных компонент, положительное — о преобладании компонент собственного производства. По мере продвижения от полного заимствования к его абсолютному отсутствию, информационный продукт проходит критическую точку  $L = 0$ , которую будем называть точкой достижения цифровой автономии.

В качестве примера рассмотрим динамику суверенизации информационного продукта, представляющего собой цифровую услугу массового использования, состоящую из набора  $N = 1000$  ключевых обеспечивающих компонент ИКТ. Пусть известно количество компонент ИКТ собственной и заимствованной разработки на горизонте 2020–2023 годов. Используя (1), найдём  $L$  в указанном временном периоде эксплуатации и занесём результат в таблице 1.

Таблица 1. Пример оценки уровня суверенизации цифровой услуги

	2020	2021	2022	2023
Компонента собственной разработки	368	456	567	617
Компонента заимствования	632	544	433	383
$L$	-26,4 %	-8,8 %	13,4 %	23,4 %

Динамика  $L$  позволяет сделать вывод о том, что начиная с 2020 года развитие данной услуги происходит по пути замещения компонент ИКТ внешних производителей. В период с 2021 по 2022 годы цифровая услуга прошла точку достижения цифровой автономии, а в 2023 уровень цифровой автономии составил 23,4 % от общего количества используемых компонент ИКТ.

Проводимый на данном шаге анализ рисков цифровой автономии имеет преимущество в использовании прогнозных моделей, которые позволят рассмотреть возможные сценарии соотношений заимствованных технологий к технологиям собственного производства, что позволит уже на этапе дизайна цифровой услуги исследовать различные фактора риска и принять стратегически верное решение в контексте цифрового суверенитета.

Результатам четвёртого шага должны стать оценка уровня цифровой автономии продукта, выведенная по результатам проведения анализа рисков цифровой автономии услуги.

**Заключение**

Подводя итог, следует обратить внимание на то, что киберпространство — это, прежде всего, среда ком-

муникации и взаимодействия, где взаимозависимости не всегда являются источником угроз цифровому суверенитету государства. Скорее, речь идет об осознанном выборе степеней зависимости. Основная цель цифровой автономии — снижение риска, достигается за счет проведения детального анализа зависимостей компонентов ИКТ и компонентов цифрового суверенитета. Зависимости могут быть незначительными, ограничи-

ваться институциональными механизмами, сознательно выбираться в рамках стратегического партнерства, быть неизбежными или критическими, что требует анализа и оценки рисков суверенитету государства. В данной статье авторы представили разработанную методику оценки уровня цифровой автономии информационного продукта.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарин В.В. Компоненты цифрового суверенитета Российской Федерации как техническая основа информационной безопасности // Вестник МГИМО Университета. 2016. № 6 (51). С. 76–91. <https://vestnik.mgimo.ru/jour/article/view/640/625#>
2. Ефремов А.А. Обеспечение государственного суверенитета Российской Федерации в информационном пространстве в документах стратегического планирования // Академический юридический журнал. 2017. №. 2. С. 11–20.
3. Шестопал С.С., Мамычев А.Ю. Суверенитет в глобальном цифровом измерении: современные тренды // Балтийский гуманитарный журнал. 2020. Т. 9. № 1 (30). С. 398–403. <http://portfolio.vvsu.ru/files/CBA3B2C2-2B2B-41DC-BC5D-9A4FD08BDA1C.pdf>
4. Ефремов А.А. Проблемы реализации государственного суверенитета в информационной сфере // Вестник УрФУ. Безопасность в информационной сфере. 2016. № 2 (20). С. 54–60. <http://www.info-secur.ru/index.php/ojs/article/view/136/126>

---

© Царегородцев Анатолий Валерьевич (tsaregorodtsev\_av@pfur.ru); Мухин Илья Николаевич (mukhin\_in@pfur.ru);

Волков Сергей Дмитриевич (volkov\_sd@pfur.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## О РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ

## ON SOLVING INVERSE PROBLEMS OF DYNAMICS

O. Shalaginova  
R. Stakhno

*Summary.* The article presents an overview of inverse problems of dynamics that arise in the diagnosis of holonomic systems with lumped and distributed parameters under conditions of uncertainty, the formulation of inverse problems for non-holonomic systems, and their comparison with known inverse problems for holonomic systems. The problem of determining the type of mechanical system from the observed properties of motion is considered, as well as the identification of mechanical systems with the choice of the class of friction functions being sought and the description of classes of boundary conditions. It has been determined that statistical methods play a key role in identifying systems, as they allow data processing, considering random and systematic measurement errors, and assessing the degree of uncertainty in model parameters. The use of statistical methods in identification allows for qualitative data analysis, establishing connections between variables, and estimating model parameters and their uncertainty. This helps create accurate and reliable mathematical models of systems, which in turn allows you to more effectively manage systems, make informed decisions and develop new technologies and modern mechanisms.

*Keywords:* inverse problem of dynamics, differential equation, holonomic system, statistical method, oscillatory system.

Шалагинова Ольга Борисовна

кандидат физико-математических наук, доцент,  
Санкт-Петербургский университет МВД России  
shalaginova1337@yandex.ru

Стахно Роман Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский университет МВД России  
piter\_rus@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлен обзор обратных задач динамики, возникающих при диагностике голономных систем с сосредоточенными и распределенными параметрами в условиях неопределённости, выполнена постановка обратных задач для неголономных систем, выполнено их сравнение с известными обратными задачами для голономных систем. Рассмотрена проблема определения типа механической системы по наблюдаемым свойствам движения, а также идентификация механических систем с выбором класса разыскиваемых функций трения и описание классов граничных условий. Определено, что статистические методы играют ключевую роль в идентификации систем, так как они позволяют обрабатывать данные, учитывать случайные и систематические ошибки измерений, а также оценивать степень неопределенности в параметрах моделей. Применение статистических методов в идентификации позволяет проводить качественный анализ данных, устанавливать связи между переменными, оценивать параметры моделей и их неопределенность. Это помогает создавать точные и надежные математические модели систем, что в свою очередь позволяет более эффективно управлять системами, принимать обоснованные решения и разрабатывать новые технологии и современные механизмы.

*Ключевые слова:* обратная задача динамики, дифференциальное уравнение, голономная система, статистический метод, колебательная система.

## Введение

Обратные задачи динамики являются важным аспектом при диагностике голономных систем с сосредоточенными и распределенными параметрами в условиях неопределенности. Такие задачи связаны с определением начальных условий, параметров системы или воздействий на систему по известным данным о её поведении.

Для диагностики голономных систем с сосредоточенными и распределенными параметрами требуется учитывать как физические законы, описывающие динамику системы, так и данные о её поведении в условиях конкретной неопределенности. Обратные задачи динамики позволяют, например, определить параметры системы, которые трудно или невозможно измерить непосредственно.

При решении обратных задач динамики для голономных систем с распределенными параметрами важным

является учет неопределенности параметров системы. Это может быть связано с ограниченной информацией о параметрах, случайными возмущениями или другими факторами, которые могут повлиять на точность диагностики.

Для успешного решения обратных задач динамики важно иметь точные математические модели системы, умение работать с различными методами оптимизации и идентификации параметров, а также учитывать возможные источники неопределенности, такие как шумы измерений, погрешности моделей и внешние возмущения.

Для более эффективного решения обратных задач динамики в условиях неопределенности широко используются методы оптимизации, идентификации параметров, а также статистические подходы. Эти методы позволяют учесть различные источники неопределенности и оптимизировать процесс диагностики для получения наиболее достоверных результатов.

Исследование и решение обратных задач динамики в диагностике голономных систем с сосредоточенными и распределенными параметрами в условиях неопределенности представляет собой сложную и актуальную задачу, которая находит применение в различных областях, включая робототехнику, авиацию, автоматизацию производственных процессов и другие.

Важным аспектом является различие между системами с сосредоточенными и распределенными параметрами. Системы с сосредоточенными параметрами характеризуются концентрацией массы и инерции в отдельных точках, что упрощает математическое моделирование и анализ их динамики.

С другой стороны, системы с распределенными параметрами имеют непрерывное распределение массы и инерции по всему объему или поверхности объекта, что усложняет задачу диагностики и определения параметров системы. В таких системах необходимо учитывать дополнительные факторы, такие как деформации, изменения формы и т. д.

Целью настоящей работы является обзор обратных задач динамики, возникающих при диагностике голономных систем с сосредоточенными и распределенными параметрами в условиях неопределенности, понятие о которых будет введено далее, постановка обратных задач для неголономных систем, сравнение их с рассмотренными в литературе обратными задачами для голономных систем.

### Постановка задачи

Обратными задачами динамики называются задачи определения активных сил и моментов, приложенных к системе, параметров системы и дополнительно наложенных на нее связей, при которых движение с заданными свойствами является одним из возможных движений рассматриваемой системы [1].

Дадим сначала краткий обзор известных классических обратных задач динамики для голономных систем с сосредоточенными параметрами с указанием методов их решения.

Термин «голономный» происходит от греческого слова «holon» (всецелый, целостный) и относится к системам, у которых все связи внутри них выражаются через координаты и, следовательно, определяются полностью. Однако в ряде сложных систем возникают отклонения от голономности из-за деформаций, нелинейностей и других факторов, что требует специального подхода при анализе и управлении такими системами

Система называется голономной, если все ограничения, которые её связывают, могут быть выражены

с помощью уравнений с явным указанием координат. Голономные системы могут быть как механическими системами (например, маятник, механизмы, механические конструкции), так и другими типами систем (например, электрические или гидравлические системы). Они обладают определенными свойствами, позволяющими удобно описывать их состояние и динамику с помощью уравнений.

В голономных системах ограничения, которые связывают элементы системы, не зависят от времени и задаются явным образом через координаты элементов системы. Такие ограничения могут быть известны заранее и использоваться для анализа и управления системой. Голономные системы представляют особый интерес для исследования динамики, управления и диагностики в различных областях науки и техники.

Важным свойством голономных систем является возможность определить их состояние полностью по значению координат элементов системы. Это облегчает моделирование и анализ динамики таких систем, так как все ограничения и связи между элементами можно учитывать явно. Поэтому математическое описание поведения голономных систем часто оказывается более простым и удобным.

Изучение голономных и неголономных систем имеет важное значение для решения различных задач в области робототехники, автоматизации производства, транспортных средств, механики и других областей техники и науки. Понимание природы ограничений в системах позволяет более эффективно и точно управлять ими, создавать новые технологии и повышать уровень автоматизации и точности в различных сферах жизни.

В голономных системах, когда связи накладывают ограничение на положение точек, но ни на их скорости, решение обратных задач динамики сводится к решению обратных задач теории обыкновенных дифференциальных уравнений, где по заданным интегралам (решениям) определяются коэффициенты или правые части уравнений.

### Методы и материалы

Задачи построения уравнений движения в виде нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка могут быть представлены в следующих вариантах.

1. Основная задача построения уравнений движения.

Построить правые части системы уравнений

$$y''_{\nu} = Y_{\nu}(y, y', t) \quad (\nu = 1, 2, \dots, n)$$

по заданному интегральному многообразию (решению)

$$\Omega : \omega_{\mu}(y, y', t) = C_{\mu} \quad (\mu = 1, 2, \dots, m \leq n)$$

2. Восстановление уравнений движения.

Дана система уравнений

$$y''_{\nu} = Y_{\nu}(y, y', t) \quad (\nu = 1, 2, \dots, n).$$

Определить вектор-функцию

$$v = [v_1(y, y', t), \dots, v_k(y, y', t)]$$

по заданному интегральному многообразию (решению)

$$\Omega : \omega_{\mu}(y, y', t) = C_{\mu} \quad (\mu = 1, 2, \dots, m \leq n)$$

3. Замыкание уравнений движения.

Дана система уравнений

$$y''_{\nu} = Y_{\nu}(y, y', u, u', t) \quad (\nu = 1, 2, \dots, n).$$

Построить правые части системы замыкающих уравнений

$$u''_{\rho} = U_{\rho}(y, y', u, u', t) \quad (\rho = 1, 2, \dots, r)$$

по заданному интегральному многообразию (решению) [1]

$$\Omega : \omega_{\mu}(y, y', t) = C_{\mu} \quad (\mu = 1, 2, \dots, m \leq r)$$

Все возможные видоизменения задач построения дифференциальных уравнений описываются указанными выше основными вариантами постановки этих задач.

Основная задача построения уравнений движения может быть рассмотрена на следующих примерах.

Первый пример — задача об определении силы, под действием которой материальная точка при любых начальных условиях движется по коническому сечению

$$\sqrt{x^2 + y^2} = e \cdot x + p,$$

$e$  — эксцентриситет,

$p$  — фокальный параметр.

Предполагается, что сила зависит лишь от положения точки  $(x, y)$ . Решение задачи сводится к построению правых частей системы двух нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка

$$x'' = X(x, y)$$

$$y'' = Y(x, y)'$$

для которой коническое сечение является интегральной кривой (решением). С такой информацией о свойствах движения находим проекции искомой силы:

$$X(x, y) = -\frac{c^2}{p} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \frac{x}{r}$$

$$Y(x, y) = -\frac{c^2}{p} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \frac{y}{r}$$

$c = \text{const.}$

Следовательно, искомая сила является силой притяжения с центром в фокусе конического сечения, обратно пропорциональной квадрату расстояния движущейся точки от центра.

Следующий пример — задача об отыскании силовой функции  $U$ , определяющей силы, которые вызывают движение голономной механической системы с заданными интегралами (решениями). Например, задача построения силовой функции в случае, когда материальная точка совершает движение по заданной плоской кривой

$$\omega(x, y) = 0.$$

Множество искомым силовых функций в данной задаче определяется из интеграла энергии

$$U = T - h,$$

$T$  — кинетическая энергия

$$U = -\Pi,$$

$\Pi$  — потенциальная энергия,

$h = \text{const}$

и может быть представлено в виде

$$U = \frac{1}{2} \cdot M^2(x, y) \cdot \left[ \left( \frac{\partial \omega}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 \right] + \Phi(\omega, x, y) - h,$$

где  $M(x, y)$ ,  $\Phi(\omega, x, y)$  — произвольные, дифференцируемые в области определения  $\omega(x, y)$  функции,

$\Phi(\omega, x, y)$  удовлетворяет условию  $\Phi(0, x, y) = 0$

Из полученного общего соотношения можно найти и решение предыдущей задачи:

$$U = \frac{c^2}{p} \cdot \frac{1}{r^2} - h..$$

Ещё один пример основной задачи — задача о построении уравнений движения механических систем, допускающих линейный относительный интегральный

инвариант. Задача эта заключается в следующем. В процессе движения механической системы интеграл Пуанкаре-Картана (энергии)

$$J = \oint_C \sum_{i=1}^n p_i \cdot \delta \cdot q_i - H \cdot \delta \cdot t,$$

где  $H$  — гамильтониан системы,

$q\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ ,  $p\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  — соответственно векторы обобщённых скоростей и импульсов, взятый вдоль произвольной замкнутой кривой не меняет своего значения при произвольном смещении этой кривой с соответствующей деформацией вдоль трубки действительных траекторий изображающей точки  $M(p, q, t)$  в расширенном фазовом пространстве.

Построим уравнения движения этой механической системы в виде

$$q'_i = Q_i(q, p, t) \\ p'_i = P_i(q, p, t), \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Из решения следует, что движение системы описывается каноническими уравнениями

$$q'_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \\ p'_i = \frac{\partial P}{\partial q_i}, \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

С гамильтонианом  $H(q, p, t)$ , входящим в интегральный инвариант.

Задачу восстановления уравнений движения проиллюстрируем на обратной задаче динамики точки переменной массы, где требуется определить закон изменения массы точки и скорость изменяющейся массы так, чтобы в заданном поле сил точка переменной массы совершала движение по заданной траектории или заданному закону. В данной задаче структура уравнений предполагается известной, и определяются параметры механических систем и дополнительные силы, входящие в уравнения движения, при которых заданное движение является одним из возможных движений рассматриваемой системы, и тем самым восстанавливаются соответствующие уравнения движения этой системы. Так, например, в задаче осуществления движения тяжёлой точкой переменной массы  $m(t)$  по заданным изменениям дальности  $u$  и высоты  $z$

$$y = \varphi(t) \\ z = \psi(t)$$

уравнения движения точки имеют следующий, определённый самой задачей вид:

$$my'' = m' \cdot (\mu - 1)y' - m \cdot f(z, v) \cdot \frac{y'}{v}$$

$$mz'' = m' \cdot (\eta - 1)z' - m \cdot f(z, v) \cdot \frac{z'}{v} - m \cdot g,$$

где  $f(z, v)$  — величина сопротивления среды, отнесённая к единичной массе,

$$v = \sqrt{y'^2 + z'^2} \text{ — скорость точки,}$$

$\mu = \mu(t)$ ,  $\eta = \eta(t)$  — отношение проекций скоростей изменяющейся массы самой точки на оси координат  $Y, Z$ . Для определения необходимых законов величин  $\mu$ ,  $\eta$  и  $m$  получаем следующие условия:

$$\mu = 1 + \frac{m}{m'} \cdot \left[ \frac{\varphi''}{\varphi'} + \frac{f(\varphi(t), v_0)}{v_0} \right] \\ \eta = 1 + \frac{m}{m'} \cdot \left[ \frac{\psi''}{\psi'} + \frac{g}{\psi'} + \frac{f(\psi(t), v_0)}{v_0} \right] \\ v_0 = \sqrt{\varphi'^2 + \psi'^2}.$$

Отсюда видно, что окончательное определение искомым величинам возможно лишь при наличии дополнительного условия, например, на величину относительной скорости изменяющейся массы

$$u_0 = \sqrt{(\mu - 1)^2 \varphi'^2 + (\eta - 1)^2 \psi'^2}.$$

Задачу замыкания уравнений движения рассмотрим на примере обратной задачи динамики твёрдого тела с одной закреплённой точкой. Это задача об определении таких условий на геометрию масс твёрдого тела и приложенные к нему силы, при которых соответствующие уравнения движения этого твёрдого тела вокруг неподвижной точки допускают заданные интегралы (решения). Самой поставленной задачей полностью определяется часть уравнений (кинематические уравнения) [2]

$$\psi' = \frac{x_1 \cdot \sin \varphi + x_2 \cdot \cos \varphi}{\sin \theta}$$

$$\theta' = x_1 \cdot \cos \varphi - x_2 \cdot \sin \varphi$$

$$\varphi' = x_3 - (x_1 \cdot \sin \varphi + x_2 \cdot \cos \varphi) \cdot \operatorname{ctg} \theta,$$

где  $x_1, x_2, x_3$  — проекции мгновенной угловой скорости тела на главные оси  $X, Y, Z$  эллипсоида инерции, построенного в неподвижной точке тела;

$\psi, \theta, \varphi$  — углы Эйлера;

известна также и структура остальных уравнений (динамические уравнения)

$$A \cdot x'_1 = (B - C) \cdot x_2 \cdot x_3 + L_1$$

$$B \cdot x'_2 = (C - A) \cdot x_3 \cdot x_1 + L_2$$

$$C \cdot x'_3 = (A - B) \cdot x_1 \cdot x_2 + L_3.$$

Задача заключается в отыскании условий, наложенных на моменты инерции  $A, B, C$  относительно главных осей и на проекции главного момента  $L_1, L_2, L_3$  внешних сил на эти же оси. В итоге система становится замкнутой системой дифференциальных уравнений.

Определим, например, условия осуществления регулярной прецессии в случае Лагранжа. Частными интегралами здесь являются следующие равенства:

$$\omega_1 = x_1 \cdot \sin \varphi + x_2 \cdot \cos \varphi - n_1 \cdot \sin \theta_0 = 0$$

$$\omega_2 = x_1 \cdot \cos \varphi + x_2 \cdot \sin \varphi = 0$$

$$\omega_3 = x_3 - n_1 \cdot \cos \theta_0 - n_2 = 0,$$

выражающие само определение регулярной прецессии.

( $\theta = \theta_0, \psi' = n_1, \varphi' = n_2$  — постоянные). Динамические уравнения записываются следующим образом:

$$A \cdot x'_1 = (A - C) \cdot x_2 \cdot x_3 + M \cdot g \cdot z_c \cdot x_5$$

$$B \cdot x'_2 = (C - A) \cdot x_3 \cdot x_1 - M \cdot g \cdot z_c \cdot x_4$$

$$x'_3 = 0,$$

где  $z_c$  — расстояние центра тяжести тела от неподвижной точки,

$$x_4 = \sin \theta_0 \cdot \sin \varphi,$$

$$x_5 = \sin \theta_0 \cdot \cos \varphi,$$

$M \cdot g$  — вес тела.

Искомое условие осуществимости регулярной прецессии тяжёлого твёрдого тела с одной закреплённой точкой в случае Лагранжа имеет вид

$$M \cdot g \cdot z_c + (A - C) \cdot n_1^2 \cdot \cos \theta_0 = C \cdot n_1 \cdot n_2.$$

Отметим фундаментальность рассматриваемых обратных задач. Так, например, решение задачи о движении по коническому сечению привело к открытию закона всемирного тяготения, а решение задачи с интегральным инвариантом к установлению принципа сохранения количества движения и энергии; математическое обобщение рассмотренных задач динамики твёрдого тела с одной закреплённой точкой и динамики тела переменной массы, а также задачи об отыскании силовой функции стали одними из основных задач космонавтики, ракетодинамики, теории построения систем программного движения.

Метод решения поставленных обратных задач впервые был сформулирован Н.П. Еругиным. Согласно этому методу, прежде всего составляются необходимые и достаточные условия того, что заданные интегралы действительно образуют интегральное многообразие строящейся системы дифференциальных уравнений. Эти

условия получаются приравниванием производных заданных интегралов, составленных в силу искомым уравнений, произвольным функциям, обращающимся в нуль на заданном интегральном многообразии. Так, в основной задаче и задаче восстановления необходимые условия осуществимости движения с теми или иными заданными свойствами имеют вид

$$\begin{aligned} & (\text{grad} \omega_\mu \cdot Y) + (\text{grad} \omega_\mu \cdot y') + \frac{\partial \omega_\mu}{\partial t} = \\ & = \Phi_\mu(\omega, y, y', t), \quad (\mu = 1, \dots, m), \end{aligned}$$

где  $Y \{Y_1, \dots, Y_n\}$  — вектор-функция правых частей уравнения,

$\Phi_\mu(\omega, y, y', t)$  — функции произвольные при  $c_\mu = 0$ , обращающиеся в нуль на интегральном многообразии:  $\Phi_\mu = 0$  при  $c_\mu = 0$ .

При решении задачи замыкания необходимые условия осуществимости движения с заданными свойствами будут иметь следующий вид

$$\begin{aligned} & (\text{grad} \omega'_\mu \cdot U) + (\text{grad} \omega'_\mu \cdot Y_0) + (\text{grad} \omega'_\mu \cdot y') + \\ & + (\text{grad} \omega'_\mu \cdot u') + \frac{\partial \omega'_\mu}{\partial t} = \Phi_\mu(\omega, y, y', t), \quad (\mu = 1, \dots, m) \end{aligned}$$

где  $Y_0 \{Y_{01}, \dots, Y_{0n}\}, U \{U_1, \dots, U_r\}$ , — вектор-функции правых частей уравнений,

$$\omega'_\mu = (\text{grad} \omega_\mu \cdot Y_0) + (\text{grad} \omega_\mu \cdot y') + \frac{\partial \omega_\mu}{\partial t}.$$

Обратимся теперь к обратным задачам динамики для голономных систем с распределёнными параметрами. Их решение сводится к решению обратных задач математической физики, которые могут быть поставлены в трёх вариантах.

1. Задача определения коэффициентов дифференциального уравнения.
2. Нахождение начальных условий.
3. Нахождение граничных условий.

Заметим, что граничные условия могут зависеть от перемещения, времени и скорости движения.

Между решениями задач математической физики при определённых условиях можно установить взаимно-однозначное соответствие. Существуют полезные связи между решениями уравнений различных типов при рассмотрении обратных задач. Оказывается, возможным при исследовании обратных задач для уравнений параболического или эллиптического типов переходить к исследованию некоторых эквивалентных им задач для уравнений гиперболического типа.

Рассмотрим пример решения обратной динамической задачи математической физики для гиперболиче-

ского уравнения. Это обратная задача третьего типа, где требуется восстановить неизвестное граничное условие, причём движение предполагается заданным не интегральным многообразием, а свойствами интегрального многообразия — некими ограничениями, набором качественных признаков из экспериментальных наблюдений, то есть в условиях неопределённости.

Общую методику исследования представим на примере задачи, обратной к динамической контактной задаче с трением между упругим телом и абсолютно жёстким. В качестве таких тел выбраны области с круговыми границами контакта. В этой обратной задаче требуется восстановить одно из граничных условий

$$K(u) = F(t) \text{ при } r = R_2$$

— силу трения  $F(t)$  — для уравнения математической физики

$$L(u) = u''$$

гиперболического типа со вторым известным граничным условием

$$\Phi(u) = C(t) \text{ при } r = R_1$$

и с начальными условиями

$$\begin{aligned} u &= A(r) \text{ при } t = 0 \\ u' &= B(r) \text{ при } t = 0. \end{aligned}$$

Имеем, как уже говорилось, описание движения не интегральным многообразием рассматриваемого движения, а его свойствами, данными экспериментальных наблюдений — проведённым несколько раз рядом измерений величин перемещения « $u$ » в некоторые последовательные моменты времени. Таким образом возникает первая проблема — описать эти экспериментальные данные математически — функцией с неопределёнными параметрами. В частности, это можно сделать линейной аппроксимацией — соединяя в каждой серии измерений две соседние точки отрезками прямых.

Так как измерения в каждой серии отличаются друг от друга, то мы получим в качестве картины движения некоторую область с верхней и нижней границами.

Теперь возникает вторая проблема — по наблюдаемым свойствам движения определить тип данной механической системы — идентифицировать механическую систему и выбрать класс разыскиваемых функций трения, то есть описать класс граничных условий, сформулировать признаки, по которым выбираем данную зависимость. Качественная идентификация основана

на применении статистических методов. Идентификация систем является важной задачей в различных областях, включая технические системы, биологические системы, экономику и многие другие. Идентификация позволяет определить параметры системы на основе имеющихся данных и моделей, что в свою очередь позволяет точно описывать поведение системы и предсказывать ее будущее состояние.

Статистические методы играют ключевую роль в идентификации систем, так как они позволяют обрабатывать данные, учитывать случайные и систематические ошибки измерений, а также оценивать степень неопределённости в параметрах моделей. Статистические методы могут включать в себя различные подходы, такие как метод наименьших квадратов, метод максимального правдоподобия, методы байесовской статистики и др.

Применение статистических методов в идентификации позволяет проводить качественный анализ данных, устанавливать связи между переменными, оценивать параметры моделей и их неопределённость. Это помогает создавать точные и надёжные математические модели систем, что в свою очередь позволяет более эффективно управлять системами, принимать обоснованные решения и разрабатывать новые технологии и продукты.

Таким образом, применение статистических методов в идентификации систем играет важную роль в повышении качества анализа данных, улучшении точности моделирования систем и обеспечении надёжности и эффективности в различных областях науки и техники.

Так как в нашей задаче возникают механические релаксационные колебания (прерывистое или скачкообразное движение), то надо проводить идентификацию колебательных систем. Рассмотрим 5 типов колебательных систем:

1. Автоколебательная система, в которой при отсутствии внешних возмущений возможны устойчивые периодические колебания.
2. Система со случайным внешним возбуждением.
3. Система со случайным параметрическим возбуждением.
4. Система с периодическим внешним возбуждением.
5. Система с периодическим параметрическим возбуждением [3].

Критерии распознавания систем этих типов основаны на анализе плотности вероятности  $\omega(v)$  квадрата амплитуды наблюдаемого процесса и на его анализе плотности вероятности  $\omega(\varphi)$  фазы наблюдаемого процесса. Мы выбрали систему I типа — автоколебательную систему. Так как система автоколебательная, к тому же колебания релаксационные, то этот класс разыскиваемых функций трения существенно не линеен. Функция

трения может зависеть от множества параметров, таких как скорость скольжения, давление, температура, масла и другие факторы, что приводит к сложной и нелинейной зависимости между силой трения и этими параметрами. В реальных системах трение обычно исследуется с использованием эмпирических моделей, которые могут быть нелинейными и неоднородными. Для описания таких функций трения могут применяться различные математические подходы, включая полиномиальные модели, модели нейросетей, модели с нелинейными уравнениями и другие. Для анализа и моделирования нелинейных функций трения широко применяются методы численного моделирования, оптимизации параметров, а также экспериментальные методы и тестирование. Постоянные исследования в этой области помогают улучшать модели и понимание процессов трения, что в итоге способствует более эффективной работе технических систем.

Приведём классификацию функций трения, зависящих от скорости движения:

степенное  $F = k_1 \cdot |x'|^{k_2-1} \cdot x'$ ,

кулоново  $F = k \cdot \frac{x}{|x'|}$

линейное и кубическое  $F = k_1 \cdot x' - k_2 \cdot x'^3$ ,

кулоново, линейное и кубическое

$$F = k_1 \cdot \frac{x}{|x'|} - k_2 \cdot x' + k_3 \cdot x'^3.$$

Мы выбираем силу трения  $F(t)$ , нелинейно зависящую от времени движения, дополняя эту классификацию.

Далее решаем прямую задачу для гиперболического уравнения, где интересующее нас граничное условие — сила трения — задано пока неизвестной функцией  $F(t)$ .

Решение ищем в виде

$$u(r, t) = w(r, t) + \tilde{u}(r, t),$$

где  $w(r, t)$  удовлетворяет соответствующему уравнению статики

$$L(w) = 0$$

с граничными условиями

$$\begin{aligned} K(w) &= F(t) \text{ при } r = R_2 \\ \Phi(w) &= C(t) \text{ при } r = R_1, \end{aligned}$$

а  $\tilde{u}(r, t)$  удовлетворяет уравнению

$$L(\tilde{u}) + g(r, t) = \tilde{u}''$$

с нулевыми граничными

$$\begin{aligned} K(\tilde{u}) &= 0 \text{ при } r = R_2 \\ \Phi(\tilde{u}) &= 0 \text{ при } r = R_1 \end{aligned}$$

и со следующими начальными условиями

$$\begin{aligned} \tilde{u} &= A(r) - w(r, t) \text{ при } t = 0 \\ \tilde{u}' &= B(r) - w'(r, t) \text{ при } t = 0. \end{aligned}$$

Решение задачи в свою очередь ищем в виде

$$\tilde{u}(r, t) = u_1(r, t) + u_2(r, t),$$

где  $u_1(r, t)$  удовлетворяет уравнению с нулевыми граничными условиями и с нулевыми начальными условиями

$$\begin{aligned} u_1(r, t) &= 0 \text{ при } t = 0 \\ u_1'(r, t) &= 0 \text{ при } t = 0, \end{aligned}$$

а  $u_2(r, t)$  однородному уравнению

$$L(u_2) = u_2''$$

с приведёнными выше начальными и нулевыми граничными условиями.

Задачи для  $u_1(r, t)$  и  $u_2(r, t)$  решаются методом разделения переменных. Их решения получены в виде бесконечных рядов по специальным функциям (Бесселя и Неймана). Получив таким образом аналитическое решение  $u(r, t)$  прямой задачи, зависящее от неизвестной пока функции силы трения  $F(t)$ , приравняем его к той функции с неопределёнными параметрами, которую мы задали по экспериментальным наблюдениям вначале. Обозначим её также  $u(r, t)$ . Возникает следующая задача решения получившегося уравнения с неопределёнными параметрами для отыскания вида функции силы трения  $F(t)$ . В нашей задаче при фиксированном  $r$  получается неоднородное граничное интегральное уравнение II рода — уравнение Вольтера с непрерывным ядром  $v(r, t)$  и с заданным  $\lambda$

$$u(r, t) = F(t) - \lambda \cdot \int_0^t F(\tau) \cdot v(t - \tau) \cdot d\tau,$$

которое сводится к интегральному уравнению Фредгольма

$$u(r, t) = F(t) - \lambda \cdot \int_0^\infty F(\tau) \cdot v(t - \tau) \cdot d\tau$$

и решается численно. Также, как и в приведённых выше необходимых условиях осуществимости движения с за-

данными свойствами для обратных задач обыкновенных дифференциальных уравнений, получилось уравнение для определения неизвестной функции, связывающее известное решение и эту неизвестную функцию — в данном случае граничное условие, зависящее от времени. Решив это уравнение, получаем функцию силы трения также с неопределёнными параметрами, в общем виде.

### Заключение

Обратные задачи восстановления в условиях неопределенности представляют собой сложную область исследований, где основной задачей является определение параметров модели или распределений данных на основе неполной, зашумленной или искаженной информации. Такие задачи часто возникают в различных областях.

В условиях неопределенности решение обратных задач восстановления становится особенно сложным из-за неизвестности параметров модели, наличия шумов в данных и недостаточной информации. Для решения таких задач часто применяются статистические методы, методы оптимизации, а также методы машинного обучения.

Важным аспектом в решении обратных задач в условиях неопределенности является учет вероятностных распределений параметров модели и данных, что позволяет оценивать неопределенность в результатах и проводить статистически обоснованный анализ. Также в таких задачах часто применяются методы регуляризации для сглаживания решений и уменьшения чувствительности к шумам.

В общем, решение обратных задач восстановления в условиях неопределенности представляет собой актуальную и сложную проблему, требующую комплексного подхода и использования различных методов и инструментов для достижения надежных и точных результатов. Однако с развитием методов обработки данных, статистики и машинного обучения появляются новые возможности для эффективного решения подобных задач.

Случай, рассмотренный в этой работе более общий, чем в условиях определенности, так как включает в себя подстановкой конкретных параметров и определенных случаи, как частные. Тем не менее теория обратных задач с неопределенностью базируется на теории классических обратных задач, подходит под описанную выше классификацию.

Также, как и обратные задачи в условиях неопределенности, в литературе ещё не рассматривались и обратные задачи для неголономных систем — систем с неинтегрируемыми кинематическими связями, накладывающими ограничения на положения точек и на их скорости. В ходе решения обратной задачи для неголономных систем требуется по заданным интегралам (решениям) определить не только уравнения движения рассматриваемых систем, но и эти кинематические уравнения связи, что накладывает ряд трудностей. По-прежнему, должна решаться проблема составления необходимых и достаточных условий того, что заданные интегралы (решения) действительно образуют интегральное многообразие строящейся системы дифференциальных уравнений и удовлетворяют кинематическим уравнениям связи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарева С.М. Системы Якоби: основные задачи динамики, методы решения: автореферат дис. кандидата физико-математических наук: 01.02.01 / Рос. ун-т дружбы народов. — Москва, 1998. — 13 с.
2. Гафаров Г.Г. Обратные задачи динамики в групповых переменных / Г.Г. Гафаров. — Москва: Физматлит, 2015. — 119 с.
3. Захаров А.В. Решение обратной задачи динамики в ОТО по алгебрам первых интегралов: диссертация кандидата физико-математических наук: 01.04.02. — Уфа, 1987. — 113 с.

# ВОЗМОЖНОСТЬ ВСТРАИВАНИЯ ДАТЧИКОВ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (ЛОС) В 3D-ПРИНТЕРЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАВЛЕННОГО ОСАЖДЕНИЯ (FDM) ДЛЯ РАСШИРЕННОГО МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Шарара Симбараше**

Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»  
shackssharara@gmail.com

## POSSIBILITY OF EMBEDDING VOLATILE ORGANIC COMPOUND (VOCs) SENSORS INTO 3D PRINTERS FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) FOR ADVANCED ENVIRONMENTAL MONITORING AND CONTROL

**Sharara Simbarashe**

*Summary.* One of the most relevant trends in the development of technological processes is ensuring environmental safety. Environmental control allows you to regulate and reduce the negative impact of production processes in the environmental sphere. One of the areas of modern scientific and technological progress that poses a danger to the environment is the use of 3D printers using the technology of deposited deposition. The main negative factor is the release of volatile organic compounds into the environment. The main purpose of the presented article is to perform an analysis regarding the possibility of solving the initial problem by monitoring and controlling emissions based on embedded volatile compound sensors. Because of the work, a comprehensive review of research issues related to the organization and technical features of solving the problem of environmental control by embedding sensors of volatile organic compounds was carried out. The author has obtained unique conclusions that not reflected in current scientific research on this issue. The paper presents the results of an analysis regarding the technical issues of integrating the sensors into the circuitry and the placement of the sensors, as well as organizational issues confirming the advantages and expediency of solving the initial problem at the expense of these funds. It was assumed that the use of the presented materials would significantly reduce the negative impact on the environment when using industrial 3D printers using the technology of fuse deposition modelling.

*Keywords:* 3D printer, volatile organic compounds sensor, deposited deposition technology, environmental safety, monitoring, environmental protection, emission, health.

*Аннотация.* Одним из наиболее актуальных трендов в развитии технологических процессов является обеспечение экологической безопасности. Экологический контроль позволяет урегулировать и снизить негативное влияние производственных процессов в экологической сфере. Одним из направлений современного научно-технического прогресса, представляющим опасность для окружающей среды, является применение 3D-принтеров, работающих по технологии наплавленного осаждения. Главным негативным фактором является выброс в окружающую среду летучих органических соединений. Основной целью представленной статьи является выполнение анализа относительно возможности решения исходной проблемы за счет мониторинга и контроля выбросов на основе встраиваемых датчиков летучих соединений. В результате работы выполняется комплексное рассмотрение исследовательских вопросов, связанных с организацией и техническими особенностями решения задачи контроля окружающей среды за счет встраивания датчиков летучих органических соединений. Автором получены уникальные выводы, не имеющие отражения в существующих на сегодняшний день научных исследованиях, посвященных данным вопросам. В работе представлены результаты анализа относительно технических вопросов интеграции размещения датчиков, а также организационных вопросов, подтверждающих преимущества и целесообразность решения исходной проблемы за счет данных средств. Предполагается, что использование представленных материалов позволит существенно снизить негативное влияние на окружающую среду при использовании промышленных 3D-принтеров, работающих по технологии наплавленного осаждения.

*Ключевые слова:* 3D-принтер, датчик летучих органических соединений, технология наплавленного осаждения, экологическая безопасность, мониторинг, охрана окружающей среды, выброс, здоровье.

## Введение

Актуальность мониторинга окружающей среды и экологической безопасности продолжает увеличиваться в 2024 году ввиду усугубляющихся последствий климатических изменений, увеличения загрязнения воздуха и водоемов, а также деградации природных экосистем. Интенсивное промышленное развитие и урбанизация требуют внедрения передовых технологий для контроля и анализа экологических параметров, что позволяет своевременно выявлять и устранять экологические угрозы. Эффективный мониторинг способствует не только защите здоровья населения, но и устойчивому развитию, обеспечивая баланс между экономическими интересами и сохранением природных ресурсов для будущих поколений. Одной из наиболее актуальных проблем в 2024 году является мониторинг и контроль окружающей среды в результате использования 3D-принтеров, работающих по технологии наплавленного осаждения, ввиду выбросов в окружающую среду летучих органических соединений (далее — ЛОС).

Выбросы летучих органических соединений (от англ. Volatile Organic Compounds — VOC) в 3D-печати методом наплавленного осаждения (от англ. Fused Deposition Modeling — FDM) вызывают внимание со стороны исследователей ввиду их потенциального негативного воздействия на здоровье человека и окружающую среду. Во время печати нагретые пластиковые материалы, такие как ABS и PLA, выделяют ЛОС, включая стирол и акрилонитрил, которые представляют опасность ввиду их токсичности при длительном воздействии. Интеграция датчиков VOC в технологии FDM на момент 2024 года представляет значимое направление применительно к решению задачи по непрерывному мониторингу и контролю уровня вредных выбросов. Предполагается, что такие датчики способны обеспечить раннее предупреждение об опасных концентрациях ЛОС, позволят принять своевременные меры для улучшения вентиляции и очистки воздуха, а также будут способствовать созданию безопасных рабочих условий и соблюдению экологических стандартов. Начало формы Конец формы

В рамках текущей статьи рассмотрена новая интеграция датчиков летучих органических соединений в схемы 3D-принтеров для моделирования методом плавного осаждения, направленная на расширение возможностей мониторинга окружающей среды и контроля в процессе 3D-печати. Поскольку 3D-принтеры FDM выделяют ЛОС во время работы, встраивание датчиков непосредственно в электронику принтера обеспечивает мониторинг и управление в режиме реального времени, обеспечивая более безопасное качество воздуха в помещении и повышая качество печати. Мы обсуждаем выбор и интеграцию датчиков ЛОС, подробно описывая модификации аппаратного и микропрограммного обеспечения

принтера для размещения этих датчиков. Исследование подчеркивает потенциал интеграции сенсорных технологий в 3D-принтеры для снижения рисков для здоровья и воздействия на окружающую среду, прокладывая путь к более разумному и безопасному аддитивному производству.

## Обзор литературы

На текущий момент времени в научном мире существует несколько исследований, в рамках которых решались отдельные вопросы, связанные с исходной темой данной статьи. В работе авторов Е.А. Борзыкина и Э.О. Хетагурова доказывается, что при 3D-печати оказывается значительное негативное влияние на окружающую среду в результате выбросов загрязняющих веществ [1]. Результаты работы подтверждаются проведенным качественным и количественным анализом выбросов. Ставится вопрос о необходимости технического и нормативно-правового регулирования данной проблемы. В работе Л. Ли также поднимается вопрос о вредных выбросах в атмосферу, как одном из основных недостатков при использовании 3D-принтеров [2]. Результаты показывают, что исходная проблема статьи действительно существует. Данным вопросам уделяется значительное внимание на сегодняшний день.

В материалах О.А. Ломовой и А.А. Кирилова поднимается вопрос о загрязнении и негативном влиянии летучих органических соединений в результате деятельности человека [3]. Статья освещает актуальность проблемы, исследует механизмы влияния ЛОС на атмосферу и последствия для глобального потепления. Авторами В.М. Ганшин, А.Н. Доронин, В.П. Луковцев, Н.В. Луковцева, В.А. Семенова и И.С. Кубанцев обосновывается необходимость интеграции в промышленных процессах дополнительных датчиков с целью определения уровня вредных веществ в атмосфере для принятия мер по снижению их концентрации. В частности, разработан электрохимический датчик для интегрального определения токсичных веществ в воздушной среде методом мультисенсорной инверсионной вольтамперометрии, обеспечивающий аналитические исследования при их малой концентрации.

Результаты литературного обзора показывают, что на момент 2024 года в российском сегменте научных исследований отсутствуют полноценные результаты, отражающие работы по интеграции и использованию VOC датчиков. Соответственно наблюдается отсутствие использования данных датчиков для регулирования процесса 3D-печати. В связи с этим следует идентифицировать пробел научных исследований, рассматривающих возможность встраивания датчиков ЛОС в 3D-принтеры для мониторинга и контроля окружающей среды. В результате этого подтверждается актуальность и необ-

ходимость проведения текущего исследования, призванного впервые провести работу по рассмотрению возможности интеграции датчиков летучих органических соединений в схемы 3D-принтеров для моделирования методом плавленого осаждения, направленная на расширение возможностей мониторинга окружающей среды и контроля в процессе 3D-печати.

### Методология

Методы сбора данных включают в себя непрерывный мониторинг уровня VOC во время печати с использованием датчиков. Данные планируются записывать в реальном времени и хранить в облачной базе данных для последующего анализа. Важно учитывать различные типы материалов для печати, так как они выделяют разные виды VOC, и проводить эксперименты при различных параметрах печати, таких как температура и скорость. В рамках настоящего исследования решаются методологические вопросы, связанные с учетом параметров печати. Для анализа собранных данных в дальнейшем планируется применять статистические методы, такие как регрессионный анализ и кластерный анализ, чтобы выявить зависимости между параметрами печати и уровнями выбросов VOC.

Для интеграции датчиков VOC в 3D-принтеры планируется использовать модульную конструкцию, позволяющую легко внедрять и заменять датчики. Стратегии размещения датчиков включают установку их в зоне экструзии, на пути воздушного потока и в зоне выхода готового изделия. Это обеспечит детальное понимание источников и уровней выбросов на каждом этапе процесса. Дальнейшие эксперименты в последующих исследованиях планируется проводить в контролируемых условиях лаборатории, чтобы минимизировать внешние факторы и обеспечить точность измерений. Анализ данных на основе предложенных в рамках данной статьи решений позволит создать модель выбросов VOC для различных режимов работы 3D-принтеров, что станет основой для разработки рекомендаций по снижению выбросов и улучшению экологической безопасности.

Также предполагается изучение влияния выбросов VOC на качество воздуха в помещении и здоровье операторов. Для этого будут использоваться портативные анализаторы качества воздуха и биомониторинг операторов, что позволит выполнить оценку воздействия VOC на их состояние и здоровье. В рамках исследования поднимается экономическая составляющая вопроса последствий внедрения систем мониторинга на основе сравнения с потенциальными затратами, связанными с загрязнением окружающей среды и угрозами для здоровья, возникающими вследствие неуправляемых выбросов.

### Результаты

Первостепенным вопросом является интеграция датчиков в 3D-принтеры. Эффективная интеграция датчиков VOC в 3D-принтеры FDM требует комплексного подхода, включающего несколько ключевых шагов:

1. Первый шаг — разработка модульной системы датчиков, которая легко интегрируется в конструкцию 3D-принтера. Эта система должна быть компактной и совместимой с различными моделями принтеров, обеспечивая гибкость и адаптивность. Датчики должны быть высокочувствительными и способными обнаруживать широкий спектр VOC, которые могут выделяться во время процесса печати;
2. Второй шаг — оптимизация размещения датчиков внутри 3D-принтера. Для этого необходимо провести моделирование воздушных потоков внутри рабочей камеры принтера, чтобы определить наиболее эффективные точки для установки датчиков. Обычно, датчики размещаются вблизи экструзионной головки, где температура наиболее высокая и выделение VOC максимально, а также на пути воздушного потока, чтобы фиксировать распространение VOC в рабочей зоне. Дополнительные датчики можно установить в зонах выхода готового изделия и вокруг принтера для мониторинга утечек VOC в окружающую среду;
3. Третий шаг — разработка системы сбора и обработки данных. Датчики VOC должны быть соединены с центральной системой управления 3D-принтером, которая будет собирать данные в реальном времени. Для этого может использоваться проводное или беспроводное подключение, в зависимости от конструктивных особенностей принтера и требований к безопасности. Собранные данные будут передаваться в облачную базу данных для хранения и анализа, что позволит отслеживать и контролировать выбросы VOC на протяжении всего процесса печати;
4. Четвертый шаг — программное обеспечение (далее — ПО) для анализа и мониторинга. Разработка специализированного ПО, которое будет обрабатывать данные с датчиков, предоставляя операторам 3D-принтера информацию об уровнях VOC в реальном времени. Это ПО должно включать алгоритмы для анализа трендов и выявления аномалий, что поможет в принятии оперативных решений для снижения выбросов VOC;
5. Пятый шаг — интеграция системы мониторинга в процессы управления качеством и безопасностью. Данные с датчиков VOC должны использоваться для оценки воздействия на здоровье операторов и окружающую среду. На основе анализа данных можно разработать рекомендации по оптимизации режимов печати, выбору материалов

и настройке вентиляции, чтобы минимизировать выбросы VOC и улучшить условия труда.

При этом важно учесть оптимальные стратегии размещения датчиков внутри 3D-принтера. Оптимальные стратегии должны учитывать несколько ключевых факторов для обеспечения точного мониторинга и контроля выбросов. Важно учитывать воздушные потоки, точки наибольшего выделения VOC, а также необходимость минимизации помех и обеспечения безопасности оборудования. Первым шагом является установка датчиков вблизи зоны экструзии, где материал нагревается и начинает выделять VOC. Экструзионная головка и сопло являются главными источниками этих выбросов, поэтому размещение датчиков в непосредственной близости от них позволит оперативно фиксировать выбросы в момент их появления.

Второй составляющей является размещение датчиков на пути воздушных потоков внутри рабочей камеры принтера. Вентиляционные отверстия или вытяжные системы, обеспечивающие движение воздуха через камеру, также являются важными точками для установки датчиков. Размещение датчиков на входе и выходе вентиляционной системы позволит оценить концентрацию VOC в различных точках воздушного потока, что поможет в оптимизации вентиляции и фильтрации.

Третий вариант предусматривает установку дополнительных датчиков на границах рабочей зоны и вблизи дверей или крышек принтера. Это поможет выявить утечки VOC из камеры печати и обеспечить безопасность окружающего пространства. Датчики, размещенные на этих участках, будут полезны для мониторинга общей утечки и контроля качества уплотнений и герметичности принтера.

Четвертая стратегия заключается в использовании нескольких датчиков внутри камеры для создания пространственной карты концентраций VOC. С помощью сетки из нескольких датчиков можно более точно определять зоны с наибольшими выбросами и корректировать процесс печати или систему вентиляции в реальном времени. Это особенно важно для крупных 3D-принтеров или тех, которые работают с большими объемами материала.

При этом важно учитывать, как различные типы VOC, выделяемые во время 3D-печати по технологии FDM, влияют на качество воздуха в помещении и экологическую безопасность во время 3D-печати по технологии FDM выделяются различные типы летучих органических соединений, такие как стирол, формальдегид, ацетальдегид и другие. Эти вещества могут значительно влиять на качество воздуха в помещении и представлять опасность для здоровья и окружающей среды. VOC являют-

ся органическими химическими веществами, которые легко испаряются при комнатной температуре и могут раздражать глаза, нос и горло, вызывать головные боли, головокружение и даже хронические заболевания при длительном воздействии.

На качество воздуха в помещении выделяемые VOC оказывают непосредственное воздействие, повышая уровень загрязненности. В помещениях с плохой вентиляцией концентрация этих веществ может быстро достигать опасных для здоровья значений. Например, стирол, который часто выделяется при печати из ABS-пластика, является канцерогеном и может вызывать серьезные проблемы с дыхательной системой. Формальдегид и ацетальдегид, выделяющиеся при печати из PLA, также известны своими токсическими свойствами и способностью вызывать аллергические реакции.

Экологическая безопасность также нарушается в результате выбросов VOC. Вещество, попадая в атмосферу, может способствовать образованию фотохимического смога и других вторичных загрязнителей. Эти процессы не только ухудшают качество воздуха, но и наносят ущерб растениям, животным и водным ресурсам. Долгосрочное воздействие высоких концентраций VOC в окружающей среде может привести к деградации экосистем и нарушению природного баланса. В связи с этим, использование 3D-принтеров без адекватного контроля выбросов VOC может существенно увеличить риск как для здоровья людей, работающих с этими устройствами, так и для окружающей среды. Поэтому интеграция систем мониторинга и фильтрации VOC становится критически важной для обеспечения безопасных условий труда и минимизации экологического ущерба. Оптимальные стратегии включают улучшение вентиляционных систем, использование фильтров и регулярное техническое обслуживание оборудования, чтобы поддерживать выбросы на минимальном уровне и защитить как здоровье людей, так и окружающую среду.

Продолжительное воздействие выбросов VOC из 3D-принтеров представляет значительные риски для здоровья и окружающей среды. На уровне здоровья человека хроническое воздействие высоких концентраций VOC может привести к развитию респираторных заболеваний, аллергических реакций, нарушений центральной нервной системы и даже онкологических заболеваний. Для людей, работающих вблизи 3D-принтеров, существует повышенный риск накопительного эффекта, который может проявиться спустя годы. Для окружающей среды выбросы VOC могут способствовать формированию фотохимического смога, который негативно влияет на качество воздуха и здоровье экосистем. Повышенная концентрация VOC в воздухе может также нарушать баланс экосистем, влиять на здоровье животных и растений, а также способствовать кислотным дождям.

Все это ведет к ухудшению условий обитания и снижению биологического разнообразия.

Смягчение этих рисков возможно с помощью переносных систем мониторинга и контроля VOC. Интеграция датчиков VOC в 3D-принтеры позволяет в реальном времени отслеживать концентрацию вредных веществ в воздухе. Эти данные можно использовать для автоматического управления вентиляцией и фильтрацией воздуха, включая активацию очистительных систем при превышении допустимых норм. Современные системы мониторинга могут быть настроены на сбор и анализ данных, что помогает своевременно выявлять и устранять источники загрязнения. Кроме того, применение фильтров в системах вентиляции 3D-принтеров может существенно снизить выбросы VOC. Использование герметичных корпусов для принтеров и улучшение общей вентиляции в помещении также являются важными мерами для уменьшения концентрации VOC. Регулярное техническое обслуживание и проверка оборудования на предмет утечек или неисправностей помогут поддерживать эффективность систем контроля на высоком уровне. Информирование и обучение сотрудников по вопросам безопасного обращения с 3D-принтерами и пониманию рисков, связанных с VOC, также играет ключевую роль. Это включает обучение правильному использованию защитных средств и соблюдению санитарных норм, что в совокупности помогает минимизировать риски для здоровья и окружающей среды.

Данные, собранные с встроенных датчиков VOC в 3D-принтерах, можно эффективно использовать для мониторинга окружающей среды в реальном времени и для улучшения процессов принятия решений. Во-первых, данные с датчиков VOC предоставляют точную и актуальную информацию о концентрации летучих органических соединений в воздухе, что позволяет непрерывно следить за качеством воздуха в рабочей зоне. Это дает возможность оперативно реагировать на повышение уровня загрязнителей, включая автоматическую активацию систем вентиляции и фильтрации. Такой подход не только повышает безопасность сотрудников, но и минимизирует воздействие на окружающую среду.

Во-вторых, анализ данных VOC может выявить паттерны и тренды в выбросах, связанные с различными параметрами печати, такими как тип материала, температура или скорость печати. Эти сведения могут быть использованы для оптимизации процессов 3D-печати, выбирая режимы, которые минимизируют выбросы VOC. Так, например, если данные показывают, что определенные материалы выделяют больше VOC при высоких температурах, то можно настроить принтеры на более щадящий режим работы.

В-третьих, собранные данные можно интегрировать в систему управления производством, что позволяет

принимать обоснованные решения на основе аналитики. Это может включать планирование техобслуживания, когда оборудование требует очистки или замены фильтров, а также прогнозирование потребностей в вентиляции в зависимости от запланированных печатных работ. Использование данных для предиктивного анализа помогает улучшить эффективность работы и снизить эксплуатационные расходы.

Кроме того, данные VOC могут быть использованы для отчетности и соответствия экологическим нормативам. Автоматическое документирование уровней VOC и действий по их снижению может помочь компаниям в демонстрации их экологической ответственности и в соблюдении требований регуляторов. Это не только улучшает репутацию компании, но и может обеспечить дополнительные финансовые и налоговые преимущества. Наконец, данные с датчиков VOC могут быть интегрированы в более широкую систему мониторинга окружающей среды. Это позволит отслеживать не только локальное качество воздуха, но и вносить вклад в региональные и глобальные экологические инициативы. Совместное использование данных с различных источников помогает создать более полное представление о состоянии окружающей среды и улучшить меры по ее защите. Следует отметить, что данные, собранные с датчиков VOC, являются мощным инструментом для улучшения экологической безопасности и эффективности производственных процессов в сфере 3D-печати.

Однако интеграция датчиков VOC в существующие технологии 3D-печати сталкивается с рядом технических проблем и ограничений, которые необходимо решить для обеспечения надежных и точных возможностей мониторинга. Одной из ключевых проблем является совместимость оборудования. Датчики VOC должны быть совместимы с различными моделями 3D-принтеров, которые могут существенно отличаться по конструкции и техническим характеристикам. Для решения этой проблемы необходимо разрабатывать универсальные интерфейсы и стандарты подключения, которые позволят легко интегрировать датчики в большинство принтеров без значительных модификаций.

Другой значимой проблемой является точность и чувствительность датчиков. Датчики VOC должны быть способны точно измерять низкие концентрации летучих органических соединений, чтобы обеспечить эффективный мониторинг. Для этого нужно выбирать высокочувствительные сенсоры, которые могут работать в условиях высоких температур и наличия различных примесей в воздухе. Также важно регулярно калибровать датчики и проводить их техническое обслуживание для поддержания точности измерений.

Расположение датчиков внутри 3D-принтера также представляет собой вызов. Датчики должны быть разме-

щены таким образом, чтобы максимально точно фиксировать выбросы VOC, не подвергаясь воздействию экстремальных температур и механических повреждений. Это требует детального проектирования системы вентиляции и охлаждения, а также разработки защищенных корпусов для датчиков. Оптимальное размещение датчиков может включать их установку в непосредственной близости от зоны печати и в системах вытяжной вентиляции.

Еще одна техническая проблема связана с обработкой и передачей данных. Датчики VOC генерируют большие объемы данных, которые необходимо эффективно обрабатывать и анализировать в реальном времени. Для этого нужны мощные вычислительные ресурсы и надежные системы передачи данных. Использование облачных технологий и мощных локальных серверов может помочь решить эту проблему, обеспечивая быстрое и надежное хранение и обработку данных.

Экономические аспекты также играют важную роль. Стоимость датчиков VOC и их интеграции может быть значительной, что требует внимательного планирования бюджета. Решить эту проблему можно путем поиска более доступных, но качественных сенсоров, а также через создание партнерств с производителями 3D-принтеров и поставщиками сенсорного оборудования для снижения затрат за счет масштабирования производства и совместных разработок. В дополнение следует отметить обучение и подготовку персонала. Операторы 3D-принтеров должны быть обучены правильной установке, эксплуатации и обслуживанию датчиков VOC. Проведение регулярных тренингов и разработка подробных руководств поможет минимизировать человеческий фактор и обеспечить эффективное использование системы мониторинга.

Следующим ключевым вопросом является то, как параметры конструкции 3D-напечатанных объектов влияют на выбросы VOC и как данная информация может быть использована для оптимизации процессов печати с целью снижения экологического воздействия. Важно отметить, что данные параметры существенно влияют на выбросы летучих органических соединений (VOC). Понимание этих взаимосвязей позволяет оптимизировать процессы печати для снижения экологического воздействия. Так, к примеру, тип материала является одним из основных факторов, определяющих количество и состав VOC, выделяемых во время печати. Различные материалы имеют разные химические составы и температурные характеристики, что влияет на их разложение при нагревании. Например, PLA выделяет меньше VOC по сравнению с ABS, который содержит стирол — токсичное органическое соединение. Поэтому выбор материалов с низкими уровнями VOC может значительно снизить загрязнение воздуха.

Скорость печати также влияет на выбросы VOC. Высокая скорость печати может привести к неполному плавлению и разложению материалов, что увеличивает количество выделяемых органических соединений. Оптимизация скорости печати таким образом, чтобы обеспечить равномерное и полное разложение материала, может уменьшить выбросы VOC. Это может включать использование медленных режимов печати для более толстых слоев и быстрых режимов для тонких слоев.

Температура печати играет ключевую роль в выбросах VOC. При более высоких температурах материалы разлагаются более интенсивно, что может привести к увеличению количества VOC. Однако слишком низкие температуры могут привести к неполному разложению и ухудшению качества печати. Поэтому важно найти оптимальный баланс температуры, который обеспечивает качественное изготовление деталей при минимальном выбросе вредных веществ. Это может потребовать проведения экспериментов и настройки параметров печати для каждого типа материала.

Информация о влиянии этих параметров на выбросы VOC может быть использована для оптимизации процессов печати следующим образом:

- выбор материалов. Предпочтение следует отдавать материалам с низким уровнем выбросов VOC, особенно для длительных или крупных проектов. Разработка новых материалов с улучшенными экологическими характеристиками также может стать приоритетом;
- вентиляция и фильтрация. Установка систем вентиляции и фильтрации в принтерах или рабочем помещении поможет удалить VOC из воздуха. Это особенно важно при использовании материалов с высоким уровнем выбросов;
- мониторинг и анализ. Использование датчиков VOC для непрерывного мониторинга воздуха в рабочем помещении позволяет оперативно реагировать на изменения в уровне загрязнения и корректировать параметры печати в реальном времени;
- настройка параметров печати. Использование данных о выбросах VOC для настройки параметров печати, таких как скорость и температура, поможет минимизировать выбросы. Это может включать адаптацию профилей печати под конкретные материалы и задачи, а также использование специализированного программного обеспечения для автоматической оптимизации.

Внедрение систем мониторинга и контроля VOC в 3D-печати несет как затраты, так и потенциальные экономические выгоды. Экономические последствия можно рассматривать с различных точек зрения: начальные инвестиции, операционные расходы, долгосрочные эко-

номические выгоды и сравнение с затратами, связанными с загрязнением окружающей среды и угрозами для здоровья. Внедрение систем мониторинга VOC требует значительных начальных вложений в оборудование, программное обеспечение и установку. Это включает закупку датчиков VOC, интеграцию этих датчиков в существующие 3D-принтеры, а также возможные модификации оборудования для обеспечения надежного мониторинга. Кроме того, необходимы затраты на обучение персонала, обслуживание и калибровку оборудования. Операционные расходы включают затраты на регулярное техническое обслуживание, замену датчиков, анализ данных и управление системой мониторинга.

С другой стороны, существуют значительные долгосрочные экономические выгоды от внедрения таких систем. Прежде всего, это снижение рисков для здоровья работников, что уменьшает затраты на медицинское обслуживание и компенсации, связанные с профессиональными заболеваниями. Повышение безопасности и качества воздуха на рабочем месте может привести к повышению производительности труда и снижению абсентеизма. Кроме того, эффективный мониторинг и контроль VOC помогают избегать штрафов и санкций, связанных с нарушением экологических норм и стандартов. В условиях все более строгого регулирования экологической безопасности это становится особенно важным.

Сравнение с потенциальными затратами, связанными с загрязнением окружающей среды и угрозами для здоровья, показывает, что внедрение систем мониторинга и контроля VOC является экономически целесообразным. Независимое исследование показывает, что затраты на лечение заболеваний, вызванных длительным воздействием VOC, значительно превышают первоначальные инвестиции в системы мониторинга. Кроме того, загрязнение окружающей среды приводит к долгосрочным негативным последствиям, включая ухудшение качества жизни и снижение стоимости недвижимости в загрязненных районах, что также несет экономические потери для общества.

Как видно, интеграция датчиков летучих органических соединений в 3D-принтеры играет ключевую роль в усилиях по устойчивому развитию и содействует применению более чистых практик производства, а также сокращению экологического следа процессов аддитивного производства. Во-первых, интеграция датчиков VOC позволяет оперативно контролировать и мониторить выбросы вредных веществ в окружающую среду в реальном времени. Это способствует выявлению и минимизации негативного воздействия процессов 3D-печати на окружающую среду и здоровье работников. Во-вторых, обнаружение и анализ выбросов VOC позволяет оптимизировать процессы печати и использовать более экологически чистые материалы и техно-

логии. Это включает в себя разработку новых материалов с меньшим содержанием вредных компонентов и разработку улучшенных методов печати, которые минимизируют выбросы.

Кроме того, информация, собранная с датчиков VOC, может быть использована для разработки и внедрения стратегий управления выбросами и разработки стандартов по снижению экологического воздействия процессов аддитивного производства. Это в свою очередь способствует развитию более ответственных и устойчивых практик в промышленности. Так, интеграция датчиков VOC в 3D-принтеры не только помогает обеспечить безопасность и защиту окружающей среды, но и способствует развитию устойчивых методов производства и сокращению экологического следа аддитивных технологий.

Нормативные рамки и стандарты, регулирующие выбросы летучих органических соединений из 3D-печатных операций, включают различные законы, нормативные документы и стандарты, разработанные для обеспечения безопасности окружающей среды и здоровья человека. К таким документам относятся, например, нормативы по качеству воздуха, экологические стандарты и законодательство, регулирующее выбросы вредных веществ. Развитие передовых технологий мониторинга, таких как интеграция датчиков VOC в 3D-принтеры, может существенно помочь в соблюдении этих норм и стандартов, а также способствовать охране окружающей среды. Эти технологии позволяют непрерывно контролировать выбросы VOC в реальном времени, оперативно выявлять потенциальные проблемы и принимать меры по их предотвращению. Благодаря передовым технологиям мониторинга можно эффективно отслеживать соответствие выбросов VOC установленным нормам и стандартам, а также своевременно реагировать на любые отклонения. Это позволяет снизить риск негативного воздействия на окружающую среду и обеспечить соблюдение требований экологической безопасности.

#### Обсуждение

Эффективная интеграция датчиков VOC в 3D-принтеры FDM поможет не только снизить экологические риски, но и улучшить качество производимых изделий, обеспечивая более стабильные и контролируемые условия печати. При этом важно учитывать, что датчики должны быть защищены от возможного загрязнения и механических повреждений, но при этом оставаться доступными для обслуживания и калибровки. Правильная установка с учетом этих требований обеспечит долгосрочную надежность и точность системы мониторинга. Однако также наблюдается ряд трудностей, связанных с интеграцией данных решений на практике. Важно подчеркнуть, что решение технических проблем и ограничений

при интеграции датчиков VOC требует комплексного подхода, включающего выбор качественного оборудования, оптимальное проектирование систем размещения, обработку данных, экономическое планирование и обучение персонала. Другим рассмотренным вопросом стало влияние понимания влияния параметров конструкции 3D-напечатанных объектов на выбросы VOC. Использование разработанных рекомендаций может значительно снизить экологическое воздействие и улучшить качество воздуха в рабочих помещениях.

Внедрение систем мониторинга и контроля VOC в 3D-печатных цехах оправдано не только с точки зрения соблюдения нормативных требований и обеспечения безопасности работников, но и с точки зрения долгосрочной экономической выгоды. Это позволяет предотвратить значительные затраты, связанные с негативными последствиями загрязнения окружающей среды и улучшить общий экономический климат в производственном секторе. Помимо этого, развитие передовых технологий мониторинга играет важную роль в соблюдении нормативных требований и стандартов, регулирующих выбросы VOC из 3D-печатных операций, и способствует охране окружающей среды.

В последующих исследованиях планируется осуществить переход к практическим разработкам, основанным на определенных ранее требованиях и рекомендациях. Это включает в себя создание и тестирование конкретных систем мониторинга и контроля VOC в 3D-печатных цехах, а также разработку инновационных технологий, направленных на сокращение выбросов и улучшение экологической безопасности процессов аддитивного производства. Такой подход позволит эффективно применить результаты исследований в практической деятельности и внедрить передовые технологии для решения актуальных проблем в области экологии и производства.

### Заключение

Таким образом, основной целью представленной статьи являлось выполнение анализа относительно возможности решения исходной проблемы за счет мони-

торинга и контроля выбросов на основе встраиваемых датчиков летучих соединений. В результате работы более подробно проанализированы такие вопросы, как эффективная интеграция датчиков VOC в 3D-принтеры FDM, оптимальные стратегии размещения датчиков внутри 3D-принтера, влияние различных типов органических соединений на качество воздуха в помещении и экологическую безопасность. Автором представлены потенциальные риски для здоровья и окружающей среды, связанные с продолжительным воздействием выбросов VOC из 3D-принтеров и рассмотрены мероприятия по их смягчению с помощью передовых систем мониторинга и контроля. В работе даны варианты использования данных, собранных с встроенных датчиков VOC в 3D-принтерах, для мониторинга окружающей среды в реальном времени и процессов принятия решений. Рассмотрены технические проблемы и ограничения при интеграции датчиков VOC в существующие технологии 3D-печати и варианты по их решению. Отдельное внимание получила экономическая и нормативно-правовая сторона вопроса. Обозначены потенциальные преимущества интеграции представляемых решений, а также их влияние на экономическую и нормативно-правовую составляющую развития нашей страны.

Автором одним из первых выполнена работа по рассмотрению возможности использования датчиков VOC для задачи мониторинга и контроля выбросов 3D-принтера. В связи с этим следует отметить, что представленные материалы могут представлять большую ценность для будущих исследователей в области создания таких инструментов, выступая в качестве основы и базы для их создания. Автором рекомендуется разработка экспертной системы в качестве основного программного обеспечения для регулирования работы датчиков и оценке уровня загрязнения в задаче контроля выбросов при печати MDF. Для этого возможно использование представленных материалов для разработки алгоритмической составляющей работы системы. При этом практическое применение разработанных технологий и методов контроля выбросов VOC на стадии тестирования необходимо выполнять в закрытых помещениях для получения наиболее объективной оценки результатов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Борзыкина Е.А., Хетагурова Э.О. Качественный и количественный анализ выбросов при 3D (трёхмерной) печати // Вестник науки. 2021. №5–1 (38). С. 106–111.
2. Ли Л. Строительные 3D-принтеры и их преимущества и недостатки // Экономика и социум. 2023. №10 (113)-1. С. 503–508.
3. Ломова О.А., Кирилов А.А. Загрязнение воздуха летучими органическими соединениями // E-Scio. 2023. №4 (79). С. 348–356.
4. Ганшин В.М., Доронин А.Н., Луковцев В.П., Луковцева Н.В., Семенова В.А., Кубанцев И.С. Электрохимический датчик для интегрального определения токсичных веществ в формате «электронный нос» в режиме мониторинга // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2017. №4 (73). С. 100–108.
5. Грищенко Е.С., Чурбанова Ю.А., Татаров Г.Л. Основные причины нарушения работы 3d-принтеров и способы их устранения // Вестник науки. 2023. №11 (68). С. 698–704.
6. Sola A., Trinchi A. Chapter 3 — The need for fused deposition modeling of composite materials, Editor(s): Antonella Sola, Adrian Trinchi, In Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, Fused Deposition Modeling of Composite Materials. Woodhead Publishing. 2023. Pages 39–89.
7. Кулакова Е.С., Сафаров А.М., Насырова Л.А., Мизгирев Д.С. Получение и использование данных оперативного мониторинга атмосферного воздуха // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2019. №4. С. 337–352.
8. Аммалайн В.А. Правовые аспекты 3D-печати // Правовая парадигма. 2021. Т. 20, № 3. С. 138–142.

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВЕРТИРОВАННОГО ИНДЕКСА

**Шранк Алексей Александрович**

Аспирант, Национальный исследовательский  
университет ИТМО, г. Санкт-Петербург  
alex29shrank@gmail.com

## RECENT METHODS OF USING THE INVERTED INDEX

**A. Shrank**

*Summary.* The inverted index algorithm is one of the most popular algorithms used in search engines and enterprise document management systems. The simplicity of the algorithm makes it universal for application to any data representations, which has led to the creation of many adaptations and improvements. Examples of these improvements can be algorithms such as TF-IDF or BM25. The article considers the intrastate and international experience of using the inverted index, its modifications, and ways of adapting to the specifics of recent search engines. The evolution and development vector of the algorithm, the pros and cons of various modifications and their applications are considered. Now, most search engines use neural language models. This leads to the forced use of embeddings as a way of presenting data. With the analysis of past decisions, a method for applying the inverted index algorithm to neural network embeddings was presented. This solution will allow the use of artificial intelligence where previously it was impossible due to the use of an inverted index, as well as improve search engines using neural network models.

*Keywords:* inverted index, neural networks, search, search engines, search algorithms, embedding, language models.

## Введение

**П**оиск информации, одна из базовых задач которая появилась вместе с понятием информация. Она является неотъемлемой частью нашей повседневной жизни и профессиональной деятельности. В условиях стремительного роста объемов данных, доступных в Интернете и корпоративных системах, эффективность и точность поиска становятся критически важными для пользователей и организаций. Современные поисковые технологии позволяют не только находить релевантные данные за доли секунды, но и анализировать их с целью выявления закономерностей и принятия обоснованных решений.

Инвертированный индекс является одной из наиболее значимых и фундаментальных структур данных в области информационного поиска и обработки текстов. С момента своего появления в середине 20-го века, инвертированные индексы сыграли ключевую роль в развитии поисковых систем, баз данных и других технологий, связанных с управлением и анализом больших

*Аннотация.* Алгоритм инвертированного индекса является одним из наиболее популярных алгоритмов, используемых в поисковых системах и системах документооборота предприятий. Простота алгоритма делает его универсальным для применения к любым представлениям данных, что послужило созданию множества адаптаций и улучшений. Примерами таких улучшений могут быть такие алгоритмы как TF-IDF или BM25. В статье рассматривается отечественный и зарубежный опыт применения инвертированного индекса, его модификации и способы адаптирования под специфику современных поисковых систем. Рассмотрены эволюция и вектор развития алгоритма, плюсы и минусы различных модификаций и области их применения.

На данный момент большинство поисковых машин используют нейронные языковые модели. Это приводит к вынужденному использованию эмбеддингов как способу представления данных. С учетом анализа прошлых решений, был представлен способ применения алгоритма инвертированного индекса к эмбеддингам нейронной сети. Данное решение позволит использовать искусственный интеллект там, где раньше это было невозможно из-за использования инвертированного индекса, а также улучшить поисковые машины использующие нейросетевые модели.

*Ключевые слова:* инвертированный индекс, нейронные сети, поиск, поисковые машины, алгоритмы поиска, эмбеддинг, языковые модели.

объемов информации [1]. Основной принцип работы инвертированного индекса заключается в создании структуры, которая позволяет быстро находить все документы, содержащие определенные слова или фразы, что делает поиск информации гораздо более эффективным по сравнению с традиционными методами последовательного перебора.

Таким образом, углубленный взгляд на историю, принципы работы, развитие и современные применения инвертированного индекса может открыть новые способы на его применение с современными структурами данных, что значительно ускорит их обработку и поиск. Среди таких структур данных могут выступать эмбеддинги нейронных сетей так как их использование в качестве идентификатора данных значительно выросло в связи с ростом использования нейросетевых языковых моделей в поисковых машинах.

Исходя из вышеперечисленного, объектом исследования является алгоритм инвертированного индекса. Предмет исследования — способность адаптации ал-

горитма к новым структурам данных. Цель исследования — рассмотреть возможность использования алгоритма с эмбедингами нейросетевых моделей.

### Литературный обзор

Первые идеи об инвертированном индексе возникли еще в середине 20-го века. В 1950-х и 1960-х годах, когда компьютеры начали использоваться для хранения и обработки текстовых данных, ученые начали разрабатывать методы для быстрого поиска информации. Идея создания списка всех уникальных слов в документе (или коллекции документов) и указания, в каких документах и на каких позициях они встречаются была выдвинута как наиболее эффективная. В 1960-х годах инвертированный индекс стал более формализованным благодаря развитию компьютерной техники. Системы, такие как SMART (System for the Mechanical Analysis and Retrieval of Text) под руководством Джерарда Салтона, были одними из первых, кто использовал инвертированные индексы для информационного поиска [2].

С развитием информационных технологий инвертированные индексы начали активно использоваться в коммерческих продуктах, таких как базы данных и поисковые системы. Улучшения в алгоритмах и архитектуре компьютеров позволили сделать его более эффективным и масштабируемым.

В 1990-х годах с развитием Интернета инвертированные индексы стали основой для веб-поисковых систем. Поисковые системы, такие как AltaVista, Google и другие, использовали инвертированные индексы для быстрой и эффективной индексации и поиска по огромным объемам веб-контента [3].

Google внес значительные улучшения в алгоритмы ранжирования и обработки запросов, используя инвертированные индексы как часть своей инновационной поисковой технологии. Это стало точкой развития модификаций алгоритма. Условно можно выделить пять направлений:

1. Сжатие индексов — использование методов сжатия данных для уменьшения объема инвертированных индексов, что помогает снизить затраты на хранение и ускорить доступ к данным [3].
  - Гамма-кодирование
  - Elias-кодирование
  - Ро-Лекка кодирование

Это наиболее популярный метод повышения эффективности так-как возможности его применения ограничиваются только представлением самих индексов.

2. Преобразование слов.

- Stemming — Удаление суффиксов из слов для приведения их к базовой форме. Например, «running» преобразуется в «run» [4].
- Lemmatization — Преобразование слов в их базовую форму с учетом контекста. Например, «better» преобразуется в «good» [4].

Данный принцип подходит только для статичных баз так как требует постоянной обработки текста.

3. Взвешивание термов.
  - TF-IDF — статистическая мера, используемая для оценки важности слова в документе относительно коллекции документов [5].
  - BM25 — Улучшенная модель взвешивания, которая учитывает длину документа и насыщение частоты термина [5].

Данные алгоритмы хорошо подходят для ранжирования текстовых документов.

4. Распределенные системы и параллелизм.
  - Хранение и обработка индексов на нескольких серверах для повышения масштабируемости и отказоустойчивости (например, использование Apache Hadoop или Elasticsearch) [6].
  - Использование многопоточности и параллельных вычислений для ускорения процесса индексации и поиска [6].

Данные методы касаются только физической реализации работы алгоритма и используются в основном на высоконагруженных распределенных базах данных.

5. Обработка естественного языка
  - Named Entity Recognition (NER): Выделение именованных сущностей (имена, даты, места и т. д.) для улучшения поиска по контексту [7].
  - Семантический анализ: Использование семантических моделей, таких как Word2Vec, GloVe или BERT, для учета смысловых связей между словами [7].

Данные алгоритмы делают поиск более схожим с человеческим, и являются наиболее популярными в поисковых машинах.

Обработка естественного языка считается наиболее продвинутой технологией улучшения инвертированного индекса за последние годы, что привлекает множество исследований на данную тематику. Например, возможность использования терм-документной матрицы на основе функции DGH для оценки патентов [8]. Или использование структуры множественных индексных векторов, где Word2Vec используется для генерации нескольких типов индексов под каждую выделенную

семантическую группу [9]. Но, несмотря на результаты этих исследований, вектор всё больше склоняется к использованию искусственного интеллекта в поисковых машинах [10].

### Результаты

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод об актуальности адаптирования алгоритма инвертированного индекса под совместную работу с нейронными языковыми моделями.

Примером такой интеграции может служить построение инвертированного индекса на основе эмбедингов, где эмбединг — это вектор значений, каждое из которых обозначает связь с семантическим термом, как это представлено на рисунке 1.

Индексы строятся по критерию связи между векторами. Таким образом, поиск может выдать документы, очень связанные по тематике, но не имеющие одинаковых слов. Связь тематик можно настраивать с помощью подстройки модели или использовать не все значения векторов для определения связи между словами.

### Заключение

В данной статье была проанализирована тенденция изменений способов использования алгоритма инвертированного индекса, показана актуальность использования алгоритма совместно с нейросетевыми язы-

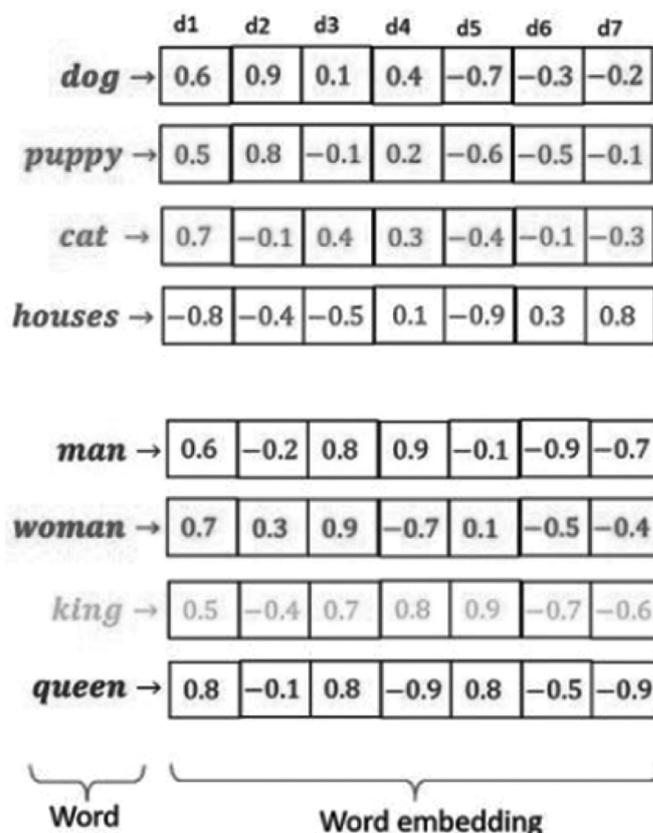


Рис. 1. Векторные представления эмбедингов языковыми моделями, представлен пример построения инвертированного индекса по эмбедингам сети.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Salton G. Automatic information organization and retrieval. — 1968.
2. Андрианов И.А., Корякин Д.С. РАЗРАБОТКА НОВЫХ ВИДОВ ИНДЕКСОВ ДЛЯ СУБД PostgreSQL С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ИНТЕРФЕЙСА СЕРВЕРА // СОВРЕМЕННЫЕ ИННОВАЦИИ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ. — 2020. — С. 20–24.
3. Pibiri G.E., Venturini R. Techniques for inverted index compression //ACM Computing Surveys (CSUR). — 2020. — Т. 53. — №. 6. — С. 1–36.
4. Desai D. et al. A comparative study of information retrieval models for short document summaries //Computer Networks and Inventive Communication Technologies: Proceedings of Fourth ICCNCT 2021. — Springer Singapore, 2022. — С. 547–562.
5. Marwah D., Beel J. Term-recency for TF-IDF, BM25 and USE term weighting //Proceedings of the 8th International Workshop on Mining Scientific Publications. — 2020. — С. 36–41.
6. Закиров М.З. Онтология больших данных информационных систем для оценки научного уровня развития регионов Российской Федерации //Искусственные общества. — 2020. — Т. 15. — №. 3. — С. 6–6.
7. Невзорова О.А., Хакимуллин Р.Р., Идрисов И.И. Цифровая научная платформа «Агрегатор неструктурированных геолого-промысловых данных»: архитектура и базовые модели извлечения данных //Георесурсы. — 2024. — Т. 25. — №. 4. — С. 149–162.
8. Коробкин Д.М. Метод формирования критериальных оценок морфологических признаков технических систем //Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2020. — Т. 8. — №. 4. — С. 23–24.
9. Chen Y. et al. OneSparse: A Unified System for Multi-index Vector Search //Companion Proceedings of the ACM on Web Conference 2024. — 2024. — С. 393–402.
10. Барщевский Е.Г. Использование искусственного интеллекта //Восточно-Европейский научный журнал. — 2023. — №. 3–2 (88). — С. 56–58.

© Шранк Алексей Александрович (alex29shrank@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДГЕЗИВНОЙ ФИКСАЦИИ В НЕСЪЕМНОМ ПРОТЕЗИРОВАНИИ

Ванин Эдуард Петросович

Врач стоматолог, ООО «ВЭЛАР»

ramina.vanyan@mail.ru

## MODERN METHODS AND APPROACHES TO IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF ADHESIVE FIXATION IN NON- REMOVABLE PROSTHETICS

E. Vanin

*Summary.* In modern dental practice, adhesive fixation plays a key role in ensuring the durability and reliability of various restoration structures. Effective adhesion between tooth tissues and restoration materials is the key to successful treatment and prevention of complications.

This work is devoted to the study of factors affecting the quality of adhesive fixation and methods of its optimization. The study examines modern adhesive systems, their composition and mechanism of action, as well as the features of their use in various clinical situations.

Special attention is paid to the pretreatment of tooth tissues, including methods of conditioning enamel and dentin, as well as ways to increase their wettability and improve the penetration of adhesive agents. Factors affecting the polymerization of adhesive materials, such as light sources, exposure time and polymerization depth, are also analyzed.

The paper presents the results of research demonstrating the effectiveness of various methods of increasing adhesive fixation. In addition, promising directions for the development of adhesive technologies, including the use of bioactive materials and nanotechnology, are being considered.

The purpose of this work is a comprehensive study of the factors influencing the effectiveness of adhesive fixation in dental practice and the development of optimal methods to improve it. Achieving this goal will ensure the durability and reliability of restoration structures, as well as reduce the risk of complications associated with adhesion disorders.

The practical significance of the article lies in the fact that the results of the study can be useful for practicing dentists, as well as for specialists involved in the development and improvement of adhesive materials and technologies.

*Keywords:* adhesive fixation, restoration, tooth tissues, polymerization, nanotechnology, tooth enamel.

*Аннотация.* В современной стоматологической практике адгезивная фиксация играет ключевую роль в обеспечении долговечности и надежности различных реставрационных конструкций. Эффективная адгезия между тканями зуба и реставрационными материалами является залогом успешного лечения и профилактики осложнений.

Данная работа посвящена изучению факторов, влияющих на качество адгезивной фиксации, и методов ее оптимизации. В ходе исследования рассматриваются современные адгезивные системы, их состав и механизм действия, а также особенности их применения в различных клинических ситуациях.

Особое внимание уделяется предварительной обработке тканей зуба, включая методы кондиционирования эмали и дентина, а также способы повышения их смачиваемости и улучшения проникновения адгезивных агентов. Также анализируются факторы, влияющие на полимеризацию адгезивных материалов, такие как источники света, время экспозиции и глубина полимеризации.

В работе представлены результаты исследований, демонстрирующие эффективность различных методов повышения адгезивной фиксации. Кроме того, рассматриваются перспективные направления развития адгезивных технологий, включая использование биоактивных материалов и нанотехнологий.

Целью данной работы является всестороннее изучение факторов, влияющих на эффективность адгезивной фиксации в стоматологической практике, и разработка оптимальных методов ее повышения. Достижение этой цели позволит обеспечить долговечность и надежность реставрационных конструкций, а также снизить риск возникновения осложнений, связанных с нарушением адгезии.

Практическое значение статьи заключается в том, результаты исследования могут быть полезны для практикующих стоматологов, а также для специалистов, занимающихся разработкой и совершенствованием адгезивных материалов и технологий.

*Ключевые слова:* адгезивная фиксация, реставрация, ткани зуба, полимеризация, нанотехнологии, эмаль зуба.

### Актуальность

Адгезивная фиксация является ключевым этапом в большинстве современных стоматологических процедур, таких как реставрация зубов, фиксация вкладок, виниров и коронок. Эффективность адгезивной фиксации напрямую влияет на долговечность и функциональность реставрационных конструкций, а также на предотвращение возможных осложнений, таких как микроподтекание, вторичный кариес и отслоение ре-

ставраций. Несмотря на значительный прогресс в области адгезивных технологий, проблема обеспечения надежной и стабильной адгезии остается актуальной. Повышение эффективности адгезивной фиксации позволит улучшить качество стоматологического лечения и продлить срок службы реставрационных конструкций.

### Цель работы

Целью данной работы является комплексное изучение факторов, влияющих на эффективность адгезивной

фиксации в стоматологической практике, и разработка оптимальных методов ее повышения.

### Материалы и методы

Методологической основой исследований послужил ретроспективный анализ пациентов, которым проводились реставрационные процедуры с применением различных классов адгезивных систем.

### Результаты исследования и их обсуждение

Достижение наилучшего результата адгезивной фиксации керамических реставраций зависит от сочетания таких факторов, как идеальный цемент и правильная техника его применения. Только так можно достичь надежных и эстетичных результатов [7].

Для постоянной адгезивной фиксации керамических реставраций используют композитные цементы. Следуя тренду методик минимально инвазивной терапии, современные композитные цементы обладают важными свойствами, которые позволяют им создать прочное соединение между реставрацией и минимально отпрепарированными тканями зуба [10].

Их часто используют для установки частичных коронок, вкладок или ультратонких виниров. При фиксации особо тонких керамических реставраций важно добиться, чтобы цемент не оказал негативного влияния на эстетический результат. В некоторых случаях, чтобы максимально приблизить цвет реставрации к требуемому, используют адгезивные цементы определенных оттенков [4].

Поскольку фиксация ортопедической конструкции лежит в зоне ответственности врача-стоматолога, он должен знать преимущества и недостатки различных материалов и показания к их применению. В последние годы композитные цементы претерпели существенное развитие, таким образом, адгезивная фиксация керамических конструкций стала неотъемлемой частью современной реставрационной стоматологии.

В современной стоматологической практике используются различные адгезивные системы для фиксации несъемных ортопедических конструкций, таких как коронки, вкладки, виниры и мостовидные протезы. Выбор адгезивной системы зависит от типа реставрационного материала, клинической ситуации и предпочтений стоматолога. Рассмотрим сравнение наиболее распространенных адгезивных систем [6].

#### 1. Тоталь-этч адгезивные системы:

Эти системы требуют предварительного протравливания эмали и дентина ортофосфорной кислотой. Затем

наносится праймер и адгезив. Примерами таких систем являются Optibond FL (Kerr), Prime&Bond NT (Dentsply Sirona), Adper Single Bond 2 (3M ESPE). Они обеспечивают высокую прочность адгезии и долговечность, но процесс их применения более трудоемкий.

#### 2. Самопротравливающие адгезивные системы:

Эти системы не требуют отдельного этапа протравливания кислотой, так как содержат в своем составе слабые кислоты, которые одновременно протравливают и обеспечивают адгезию к тканям зуба. Примерами являются Clearfil SE Bond (Kuraray), Xeno Select (Dentsply Sirona), G-Premio Bond (GC Corporation). Они более просты в применении, но могут иметь несколько меньшую прочность адгезии по сравнению с тоталь-этч системами [2].

#### 3. Универсальные адгезивные системы:

Эти системы совмещают в себе возможность использования как в режиме тоталь-этч, так и в режиме самопротравливания. Примерами являются Scotchbond Universal (3M ESPE), Prime&Bond Elect (Dentsply Sirona), G-Premio Bond Universal (GC Corporation). Они обеспечивают гибкость в выборе режима применения и высокую прочность адгезии [6].

#### 4. Адгезивные системы для керамики:

Для фиксации цельнокерамических реставраций используются специальные адгезивные системы, содержащие праймеры для обработки внутренней поверхности керамики и адгезивы для связи с тканями зуба. Примерами являются Monobond Plus (Ivoclar Vivadent), Clearfil Ceramic Primer Plus (Kuraray), RelyX Ceramic Primer (3M ESPE).

При выборе адгезивной системы стоматологи учитывают такие факторы, как простота применения, время работы, прочность адгезии, долговечность и совместимость с реставрационными материалами. Современные универсальные адгезивные системы предоставляют стоматологам больше гибкости и упрощают процесс фиксации различных типов несъемных ортопедических конструкций [5].

Для повышения эффективности адгезивной фиксации применяются различные методы, направленные на улучшение прочности и долговечности адгезионной связи между реставрационным материалом и тканями зуба. Рассмотрим некоторые из этих методов:

1. Правильная подготовка поверхности зуба является ключевым фактором для обеспечения надежной адгезии. Она включает в себя удаление налета, зубного камня и остатков временного цемента,

а также создание шероховатой поверхности эмали и дентина для улучшения микромеханической ретенции [8].

2. Применение современных адгезивных систем, таких как тоталь-этч или самопротравливающих систем, позволяет создать прочную химическую связь между реставрационным материалом и тканями зуба. Важно строго следовать инструкциям производителя для обеспечения оптимальной адгезии.
3. Протравливание эмали ортофосфорной кислотой создает микроскопические поры на ее поверхности, что значительно увеличивает площадь контакта и улучшает микромеханическую ретенцию адгезива [1].
4. Для повышения адгезии к керамическим или композитным реставрациям применяются силановые праймеры. Они обеспечивают химическую связь между неорганической частью реставрационного материала и адгезивом [1].
5. Адекватная световая полимеризация адгезивов и композитных цемента имеет решающее значение для достижения максимальной прочности адгезионной связи. Необходимо использовать качественные светополимеризационные лампы и соблюдать рекомендованное время экспозиции.
6. Поддержание оптимального уровня влажности в области препарирования зуба является важным фактором для успешной адгезии. Избыточная влага может нарушить полимеризацию адгезива, а чрезмерная сухость может привести к коллапсу коллагеновых волокон дентина [5].
7. В случае необходимости ремонта или повторной фиксации ортопедических конструкций используются специальные адгезивные ремонтные композиты, которые обеспечивают прочную связь с существующими реставрационными материалами [8].

### Заключение

Достижение эффективной и долговечной адгезивной фиксации ортопедических несъемных конструкций

является сложной задачей, требующей комплексного подхода. Успех зависит от тщательного соблюдения всех этапов подготовки поверхности зуба, правильного выбора и применения адгезивных систем, а также строгого контроля факторов, влияющих на качество адгезионной связи.

Ключевыми моментами для повышения эффективности адгезивной фиксации являются:

1. Создание шероховатой поверхности эмали и дентина для улучшения микромеханической ретенции.
2. Использование современных адгезивных систем, обеспечивающих прочную химическую связь с тканями зуба.
3. Применение силановых праймеров для улучшения адгезии к керамическим и композитным реставрациям.
4. Адекватная световая полимеризация адгезивов и композитных цемента.
5. Поддержание оптимального уровня влажности в области препарирования.
6. Использование адгезивных ремонтных композитов для ремонта или повторной фиксации конструкций.

Следование этим принципам и постоянное совершенствование адгезивных технологий позволит стоматологам добиваться более предсказуемых и долговечных результатов при фиксации несъемных ортопедических конструкций, обеспечивая высокое качество лечения и удовлетворенность пациентов.

Важно понимать, что успешная адгезивная фиксация является результатом тщательного планирования, строгого соблюдения протоколов и внимания к деталям на каждом этапе процесса. Только комплексный подход, основанный на современных знаниях и передовых технологиях, может гарантировать долговременную эффективность и надежность несъемных ортопедических конструкций в стоматологической практике.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мурина В.Н., Олейник О.И., Кунин А.А. Эффективность адгезивной фиксации вкладок из диоксида циркония в клинике ортопедической стоматологии // Стоматология. 2021. Т. 100, № 4. С. 37–41.
2. Каламкаргов Х.А., Максуюков С.Ю., Воробьев М.В. Сравнительная оценка эффективности адгезивной фиксации керамических реставраций с использованием различных адгезивных систем // Эндодонтия Today. 2020. Т. 18, № 2. С. 18–24.
3. Гецман О.В., Гецман В.А., Мачулис А.А. Влияние протравливания на эффективность адгезивной фиксации керамических реставраций // Проблемы стоматологии. 2019. № 4. С. 62–68.
4. Радлинская В.Н., Михальченко Д.В., Порошин А.В. Оценка эффективности адгезивной фиксации стекловолоконных штифтов в клинических условиях // Маэстро стоматологии. 2021. № 1. С. 32–37.
5. Арутюнов С.Д., Царев В.Н., Михальченко Д.В. Сравнительная характеристика эффективности адгезивной фиксации керамических реставраций с использованием различных адгезивных систем // Клиническая стоматология. 2020. № 3. С. 44–49.

6. Гуськова А.А., Хромова Е.В., Макеева И.М. Влияние способа обработки керамических реставраций на эффективность адгезивной фиксации // Стоматология. 2019. Т. 98, № 5. С. 51–56.
7. Цепов Л.М., Альбитер А.В., Ибрагимов Т.И. Оценка эффективности адгезивной фиксации цельнокерамических реставраций в клинических условиях // Эндодонтия Today. 2021. Т. 19, № 1. С. 12–18.
8. Салова А.В., Кунин А.А., Арутюнов С.Д. Эффективность адгезивной фиксации керамических вкладок с использованием различных адгезивных систем // Стоматология. 2020. Т. 99, № 3. С. 38–43.
9. Шторина Г.Б., Цепов Л.М., Мирсалихова Л.М. Адгезивные системы в клинической стоматологии: руководство для врачей. М.: МЕДпресс-информ, 2018. 208 с.
10. Рубникович С.П., Андреева В.А., Бурлуцкая А.В. Адгезивные технологии в стоматологии: учебное пособие. Минск: БГМУ, 2021. 128 с.

---

© Ванин Эдуард Петросович (ramina.vanyan@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КРИПТОКОККОВЫЙ МЕНИНГОЭНЦЕФАЛИТ У ПАЦИЕНТОВ С ВИЧ-ИНФЕКЦИЕЙ. СЛУЧАИ УСПЕШНОГО ЛЕЧЕНИЯ

## CRYPTOCOCCAL MENINGOENCEPHALITIS IN PATIENTS WITH HIV INFECTION. CASES OF SUCCESSFUL TREATMENT

**V. Lavrenyuk**  
**G. Kovalenko**  
**Ju. Kudlaeva**  
**E. Galimova**  
**Ju. Goncharova**

*Summary.* In this article, we analyzed several cases of patients with HIV infection who were diagnosed with CME. We studied the clinical picture, laboratory data, microbiological studies, and treatment results in each patient. In addition, we also conducted a literature review to consider the most effective approaches to the treatment of CME. In our study, we studied 10 cases of CME in HIV-infected patients. The diagnosis was confirmed by the detection of *Cryptococcus neoformans* in the patients' cerebrospinal fluid. All patients had typical clinical manifestations such as headache, fever, seizures, and changes in their state of consciousness. In all cases, a successful clinical recovery was achieved. Patients experienced an improvement in symptoms, a decrease in the number of fungi in the cerebrospinal fluid and restoration of immunity after treatment. In addition, we will also discuss existing recommendations on the duration and treatment regimens of CME in HIV-infected patients based on our results and literature data.

*Keywords:* cryptococcal meningoencephalitis, HIV, treatment, diagnosis.

**Лавренюк Владимир Валерьевич**  
ассистент, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный  
Медицинский Университет»;  
заведующий, врач-инфекционист, ГБУЗ «Краевая  
клиническая больница №2»;  
врач-пульмонолог,  
ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина»  
г. Владивосток  
lavrenyuk\_90@bk.ru

**Коваленко Галина Викторовна**  
врач-инфекционист,  
ГБУЗ «Краевая клиническая больница №2»  
г. Владивосток  
millefolium1@mail.ru

**Кудлаева Юлия Александровна**  
врач-инфекционист,  
ГБУЗ «Краевая клиническая больница №2»  
г. Владивосток  
kudlatva25@mail.ru

**Галимова Елена Сергеевна**  
врач-инфекционист,  
ГБУЗ «Краевая клиническая больница №2»  
г. Владивосток  
lenusha\_galimova@mail.ru

**Гончарова Юлия Вадимовна**  
ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный  
Медицинский Университет»  
juliagoncharova09@gmail.com

*Аннотация.* В данной статье мы проанализировали несколько случаев пациентов с ВИЧ-инфекцией, у которых был диагностирован КМЭ. Мы изучили клиническую картину, лабораторные данные, микробиологические исследования и результаты лечения у каждого пациента. Кроме того, мы также провели обзор литературы, чтобы рассмотреть наиболее эффективные подходы к лечению КМЭ. В нашем исследовании мы изучили 10 случаев КМЭ у ВИЧ-инфицированных пациентов. Диагноз был подтвержден путем обнаружения *Cryptococcus neoformans* в ликворе пациентов. Все пациенты имели типичные клинические проявления, такие как головная боль, лихорадка, судороги и изменения в состоянии сознания. Во всех случаях было достигнуто успешное клиническое выздоровление. У пациентов наблюдалось улучшение симптомов, снижение числа грибов в ликворе и восстановление иммунитета после лечения. Кроме того, мы также обсудим существующие рекомендации по длительности и схемам лечения КМЭ у ВИЧ-инфицированных пациентов на основе наших результатов и литературных данных.

*Ключевые слова:* криптококковый менингоэнцефалит, ВИЧ, лечение, диагностика.

**Введение**

**К**риптококковый менингоэнцефалит (КМЭ) является серьезным осложнением у пациентов с вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ-инфекцией). В последние десятилетия наблюдается увеличение числа случаев КМЭ в странах с высокой распространенностью ВИЧ-инфекции, что указывает на необходимость более эффективного подхода к диагностике и лечению этого заболевания.

Криптококковый менингит является наиболее распространенной формой менингита у взрослых во многих регионах с высокой распространенностью вируса иммунодефицита человека (ВИЧ) [1,2], и он составляет 10–20 % всех смертей, связанных с ВИЧ, с более чем 100 000 смертей ежегодно [3,4].

КМЭ возникает при инвазии гриба *Cryptococcus* в центральную нервную систему, что приводит к воспалению оболочек головного мозга [5]. Инфекция может проявляться различными неврологическими симптомами, включая головную боль, ригидность мышц шеи, судороги, изменение поведения и др. Эти симптомы могут быть сложными для диагностики, особенно у пациентов с ВИЧ-инфекцией, поскольку они могут быть сходными с другими оппортунистическими инфекциями и осложнениями ВИЧ [6,7].

В этой статье мы рассмотрим несколько случаев успешного лечения КМЭ у пациентов с ВИЧ-инфекцией и обсудим важность ранней диагностики и оптимального лечения этого заболевания.

**Материалы и методы**

В период с 2020 по 2023 годы в ГБУ «Краевая клиническая больница №2» центр СПИД г. Владивосток было проведено лечение 10 пациентов с криптококковым менингоэнцефалитом (КМЭ), ассоциированным с ВИЧ инфекцией.

Из 10 пациентов, у 3 стадия ВИЧ была 2В, у 4 пациентов стадия ВИЧ инфекции соответствовала 3, у троих была стадия вторичных заболеваний — 4В.

Возраст пациентов варьировал от 22 до 51 года. Уровень CD4+ клеток в крови пациентов колебался от 0 до 500 клеток. В качестве рамках обследования всем пациентам выполнялась МСКТ/МРТ головного мозга с последующей пункцией спинномозговой жидкости (СМЖ) и ее цитологическим исследованием. Также проводилась оценка чувствительности к антимикотическим препаратам путем прямой микроскопии и культурным методом. Для обнаружения ДНК возбудителя и определения инфекционной нагрузки, пациентам проводилась ПЦР при поступлении в стационар, а также каждые 7 и 14 дней после начала антимикотической терапии.

Клинико-демографические характеристики, а также уровень CD4+ клеток пациентов представлены в таблице № 1.

Таблица 1.

Клинико-демографические характеристики пациентов с КМЭ, ассоциированного с ВИЧ инфекцией

Пациент	Пол	Возраст	Уровень CD4+
1	М	36	201
2	М	47	306
3	Ж	38	278
4	М	27	129
5	М	32	354
6	М	51	80
7	Ж	22	78
8	Ж	39	298
9	М	46	154
10	М	40	90

**Результаты и обсуждение**

Доминирующим симптомом была головная боль, имеющая тенденцию к нарастанию. Ее длительность составляла от нескольких недель до нескольких месяцев. Остальные симптомы и их частота отражены на рисунке 1

При поступлении все пациенты были осмотрены врачом-неврологом с оценкой уровня сознания, наличие или отсутствие менингеальных симптомов, а также неврологического дефицита.

Анализ ликворной жидкости у пациентов с ВИЧ и криптококковой инфекцией представляет собой важную диагностическую процедуру для оценки состояния центральной нервной системы. В результате такого анализа можно получить информацию о наличии и концентрации криптококковых антигенов, клеток, белков и других параметров, которые могут свидетельствовать о воспалительном процессе или других патологических изменениях.

Важными результатами анализа ликворной жидкости являются количество лимфоцитов и моноцитов, уровень белков, глюкозы и других показателей. Повышенное количество лимфоцитов и белков, а также сниженный уровень глюкозы могут свидетельствовать о воспалительном процессе, характерном для криптококковой инфекции.

Результаты анализа СМЖ у пациентов из нашего исследования до поступления и через 14 дней после начала антимикотической терапии представлены на рисунке №2 и № 3.

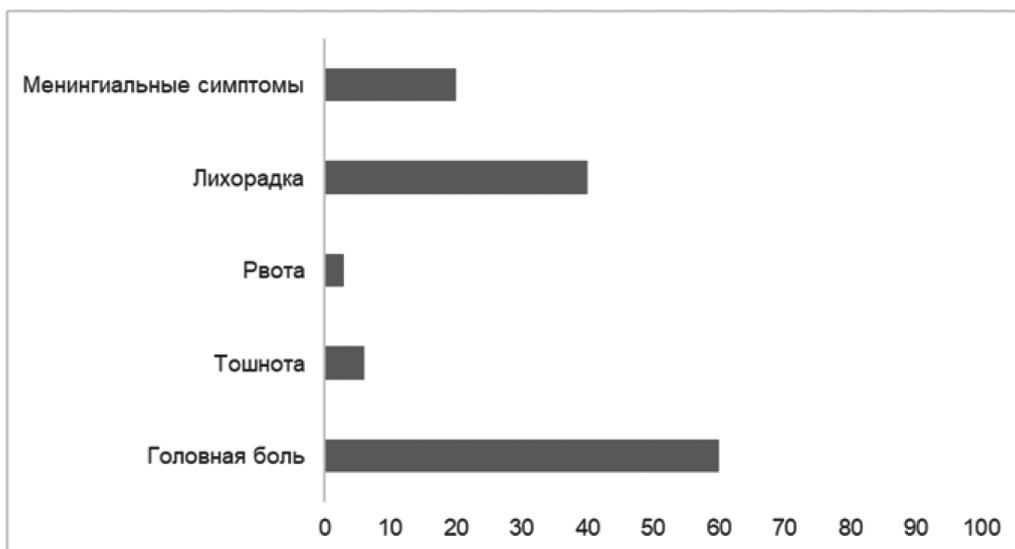


Рис. 1. Симптомы у пациентов КМЭ, ассоциированного с ВИЧ-инфекцией

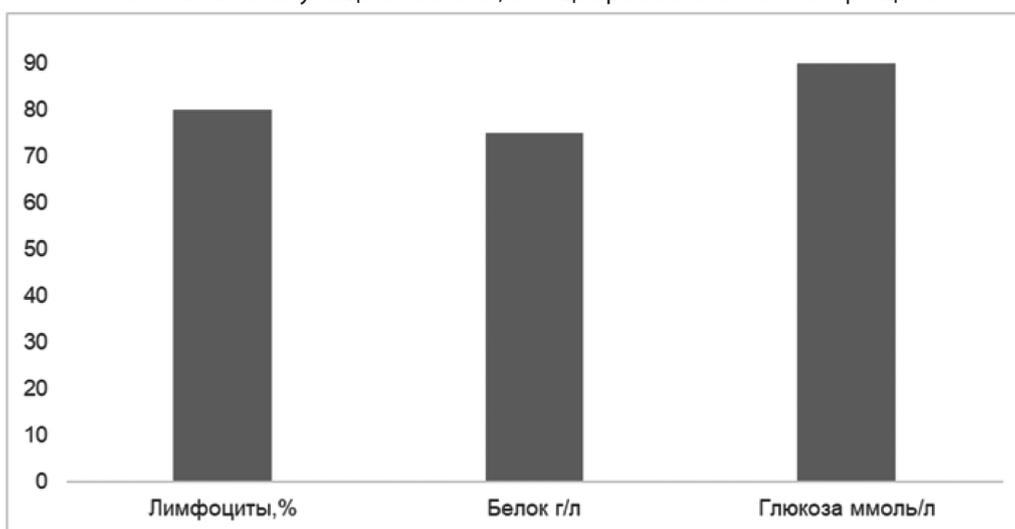


Рис. 2. Анализ СМЖ у пациентов с КМЭ, ассоциированного с ВИЧ-инфекцией при поступлении

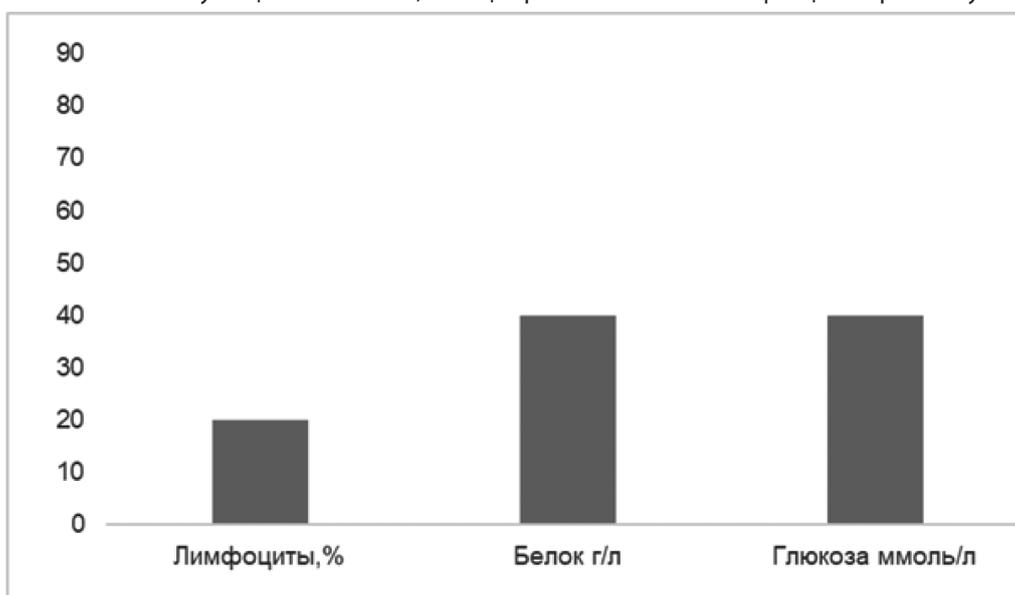


Рис. 3. Анализ СМЖ у пациентов с КМЭ ассоциированного с ВИЧ-инфекцией через 14 дней после начала лечения

Полимеразная цепная реакция (ПЦР) является эффективным методом диагностики криптококковой инфекции у пациентов с ВИЧ-инфекцией [8,9,10]. Метод основан на возможности увеличить идентификацию исходного генетического материала патогена путем многократного его увеличения.

Для диагностики криптококковой инфекции используется ПЦР на ДНК криптококковых грибов, в основном на гене капсулы криптококков (Cap59). Cap59 — одна из главных внешних компонентов криптококковой капсулы, и его наличие свидетельствует о присутствии инфекции.

ПЦР имеет высокую чувствительность и специфичность, что делает его надежным инструментом для диагностики криптококковой инфекции у пациентов с ВИЧ-инфекцией.

Микроскопический метод является одним из важных методов диагностики криптококковой инфекции у пациентов с ВИЧ-инфекцией [11,12,13,14]. Этот метод позволяет визуализировать морфологические особенности криптококковых грибов и обнаружить их присутствие в образцах биоматериала, таких как ликвор или другие ткани.

Обнаружение криптококковых грибов в микроскопическом исследовании может подтвердить наличие инфекции. Кроме того, микроскопический метод может помочь оценить количество и степень криптококковой инфекции, наличие дрожжевых клеток в ликворе и других тканях.

Однако, важно отметить, что микроскопический метод имеет свои ограничения. Он может быть менее чувствительным по сравнению с другими методами, такими как ПЦР и его результаты требуют дополнительных подтверждающих исследований для более точного определения диагноза.

В 2014 году Joseph N. Jarvis et al. [15] инициировали крупное исследование, включающее в себя проспективный анализ 501 случая КМЭ у пациентов с ВИЧ-инфекцией. Исследование показало, что одна треть пациентов скончалась в течение 10 недель после начала лечения. Медианная выживаемость составила 13 дней, что указывает на важность раннего начала терапии для предотвращения летального исхода у некоторых пациентов. Большинство смертей произошло из-за самого КМЭ. Факторы, связанные с повышенной смертностью, включали высокую фунгальную нагрузку, измененное состояние сознания пациентов и др. Через две недели после начала лечения причины смерти у пациентов начали связывать с другими факторами, связанными с ВИЧ. Кроме указанных факторов, выявлены дополнительные

рисковые факторы, такие как низкий уровень лимфоцитов CD4+, низкая масса тела и анемия. Также было обнаружено, что высокая фунгальная нагрузка в центральной нервной системе (ЦНС) связывается с повышенным риском смерти. Это может быть связано с низким уровнем лимфоцитов CD4+, что подчеркивает важность клеточного иммунитета в борьбе с криптококковой инфекцией. Кроме того, выявлено низкое количество лейкоцитов в ЦНС и низкий уровень воспалительных маркеров, таких как IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$  и IL-6, что указывает на проблемы с воспалительным ответом на месте инфекции. Скорость снижения инфекционной нагрузки также оказалась связана с летальным исходом. Более медленное снижение инфекционной нагрузки связано с более высокой смертностью. Это самое большое исследование, изучающее факторы, определяющие исход при КМЭ, ассоциированной с ВИЧ. Результаты подчеркивают высокую острую смертность у пациентов с КМЭ, даже среди пациентов, преимущественно получающих амфотерицин-основанную терапию. Такие пациенты, скорее всего, имеют лучшую перспективу, чем те, кто получает обычную помощь, поэтому эти результаты показывают минимальный летальный исход.

В исследовании S.F. Molloy et al. [16] был проведен сравнительный анализ трех стратегий лечения 721 пациента с КМЭ на фоне ВИЧ-инфекции. В результате анализа было установлено, что уровень смертности в группах, где амфотерицин В принимался перорально в течение 1 и 2 недель, составил соответственно 18,2 % (41 из 225), 21,9 % (49 из 224) и 21,4 % (49 из 229) через 2 недели: 35,1 % (79 из 225), 36,2 % (81 из 224) и 39,7 % (91 из 229). Через 10 недель односторонний доверительный интервал для разницы в смертности через 2 недели между группой перорального приема и группами амфотерицина В составил 4,2 %, а для 1-недельных групп амфотерицина В и 2-недельных групп амфотерицина В составил 8,1 %. Флуцитозин, используемый совместно с амфотерицином В, был более эффективным, чем флуконазол (71 смертельный исход (31,1 %) против 101 смертельного исхода (45,0 %)). Отношение рисков смерти через 10 недель составило 0,62, с 95 % доверительным интервалом [0,45–0,84] и значимостью  $P=0,002$ . Недельный курс приема амфотерицина В в сочетании с флуцитозином связан с самым низким уровнем смертности в течение 10 недель. В результате исследования было установлено, что одна неделя приема амфотерицина В в комбинации с флуцитозином и 2 недели приема флуконазола в комбинации флуцитозин эффективны в качестве индукционной терапии криптококкового менингита в условиях ограниченных ресурсов.

В исследовании Rajasingham R et al. [17], проведенном в 2017 оценивается общая заболеваемость КМЭ у пациентов с ВИЧ-инфекцией. Исследователи собрали данные из различных источников, включая национальные базы

данных и литературу. Они использовали модели и методы для оценки распространенности КМЭ и его влияния на пациентов с ВИЧ-инфекцией. Исследование показало, что КМЭ является значительной проблемой для пациентов с ВИЧ-инфекцией. В 2014 году оценивалось, что КМЭ является причиной 15 % всех смертей, связанных с ВИЧ-инфекцией, что соответствует около 181 100 смертям в год. Это делает КМЭ одной из наиболее значимых причин смерти у пациентов с ВИЧ-инфекцией.

Кроме того, исследование оценило распределение КМЭ по географическим регионам. Оно показало, что самая высокая распространенность КМЭ наблюдается в Африке, где она составляет около 73 % всех случаев. Также высокая нагрузка заболевания отмечается в Южной и Юго-Восточной Азии. Установлена необходимость улучшения стратегий предотвращения, диагностики и лечения КМЭ у пациентов с ВИЧ-инфекцией, что включает расширение доступа к антифунгальным лекарствам и улучшение доступности ВИЧ-терапии, которая может снизить риск развития КМЭ у пациентов с ВИЧ-инфекцией. Эти результаты подчеркивают важность обращения внимания на КМЭ как серьезное осложнение ВИЧ-инфекции и необходимость принятия дополнительных мер для снижения тяжести заболевания и смертности, связанных с ним.

Butler EK, et al. в 2022 г. [18] опубликовали систематический обзор, в котором было исследовано применение антифунгальных препаратов в лечении КМЭ и их лекарственный мониторинг. Исследование включало 14 качественных исследований, в которых изучались эффективность и безопасность амфотерицина В и флуконазола, применяемых при лечении КМЭ.

Результаты обзора указывают на важность лекарственного мониторинга доз антифунгальных препаратов в достижении наилучших результатов при лечении КМЭ. Исследования показали значительное различие в рекомендациях по кровяному мониторингу препаратов, что, вероятно, связано с индивидуальными особенностями пациентов и фармакокинетическими факторами. Это подчеркивает важность индивидуального подхода к дозированию антифунгальных препаратов и мониторингу их концентраций в крови у пациентов с КМЭ.

Также было подтверждено, что лекарственный мониторинг способствует достижению оптимальных терапевтических эффектов и предотвращению побочных эффектов или токсичности препаратов. Этот подход позволяет индивидуализировать дозирование в зависимости от особенностей каждого пациента и обеспечить достаточную концентрацию препаратов в организме.

Результаты исследования подчеркивают важность лекарственного мониторинга антифунгальных препа-

ратов при лечении КМЭ и подтверждают его полезность для оптимизации терапии. Они предоставляют ценную информацию для врачей, занимающихся лечением КМЭ с использованием антифунгальных препаратов.

В последние годы проводится ряд исследований, хорошо зарекомендовавших себя *in vitro* или на мышинных моделях. Так, например, Zhao M, et al [19] в своей работе описали успешный опыт применения Фосманогепикса — нового перспективного противогрибкового препарата, который был успешно протестирован в лабораторных условиях и на мышинной модели. Он является первым представителем своего класса и действует путем ингибирования фермента Gwt1, ответственного за биосинтез гликозилфосфатидилинозита (GPI), что нарушает интегрированность клеточной стенки, образование биопленки и рост грибов. Была установлена активность против широкого спектра патогенных грибов, включая *Cryptococcus spp.*, *Candida spp.* и *Aspergillus fumigatus*. Кроме того, препарат обладает синергическим эффектом в сочетании с другими антигрибковыми препаратами, такими как флуконазол и амфотерицин В. Фосманогепикс получил статус ускоренного лечения от Управления по контролю за продуктами и лекарствами США (FDA) и в настоящее время проводятся многочисленные исследования для определения его эффективности в лечении инвазивных грибковых инфекций, включая криптококковый менингоэнцефалит.

Использование методов сорбции и фильтрации ликвора успешно зарекомендовали себя в лечении пациентов с геморрагическими инсультами [20]. При лечении криптококкового менингита эти технологии предоставляют дополнительные преимущества [21]. Они не только позволяют быстро удалять грибок из ликвора, но также позволяют непрерывно контролировать и мониторировать давление и состав жидкости. Это может снизить необходимость повторной лечебной люмбальной пункции. Технология также может устранить факторы, способствующие развитию заболевания, такие как цитокнины и отслаивающаяся капсула, и даже обеспечить прямую доставку антимикотических препаратов в жидкость. Данная технология может быть применима в клиниках с частыми случаями КМЭ, даже в условиях ограниченных финансовых ресурсов.

#### Клинический пример

Пациент Г. находился на стационарном лечении с 26.06.2023 по 11.08.2023 с диагнозом: ВИЧ инфекция 4 Б. Стадия вторичных заболеваний. Фаза неполной ремиссии на фоне начала приема антиретровирусной терапии (АРТ). О диагнозе ВИЧ знал с 2001 года, однако за медицинской помощью не обращался. С 2020 года, отмечает головные боли. С января 2023 года головные боли росли. Осмотрен неврологом, назначено МРТ — голов-

ного мозга, по данным которого выявлена МР-картина образований в проекции правых височной, затылочной, левой затылочной, теменной долей (не исключен воспалительного генеза). Многочисленные очаги хронической ишемии. Был госпитализирован в стационар в связи с нарастанием неврологической симптоматики.

Состояние при поступлении — тяжелое.

Иммунный статус: CD4— 120 кл/мкл. 21 %. РНК HIV: 682758 коп/мл СМЖ при поступлении: ликвор бесцветный, прозрачный, цитоз 170 кл/мкл, белок 4,1 г/л, глюкоза 0,6 мМ/л, Грибковая микрофлора в умеренном количестве.

Пациенту проведена следующая терапия: Sol. NaCl 0,9 % 100 ml + Sol. Aciklovir 250 (4 amp/-1000) 2 раза в сутки, Sol. Fluconosoli 2mg/1ml — 200,0 2 раза в сутки, Sol. Levofloxacin 5 mg/ml — 100 ml 2 раза в сутки, Sol. Cephtriaxon 2,0 — 2 раза, Sol. Dexamethazoni 8 mg — 2 раза в сутки, Ferrumlek 100 mg x 3 раза в день, T. Cotrimoxazole 480 mg x 1 раз, C. Ursodezi 500 mg x 1 раза в день, внутрь на вечер. С 11.07.23г. начат прием АРТ: T. Lamivudini 300 mg x 1 раз в день с интервалом 24 часа, T. Lopinavir/ritonavir 200/50 mg по 2 таблетки x 2 раза в день с интервалом 12 часов, T. Tenofovir 300 mg по 1 таб x 1 раз в сутки с интервалом 24 часа. В результате лечения достигнут положительный клинический и микробиологический эффект. Выписан в удовлетворительном состоянии, с положительной динамикой на фоне проводимой терапии под наблюдением доверенного врача поликлиники по месту регистрации.

## Выводы

В нашем исследовании мы изучили 10 случаев КМЭ у ВИЧ-инфицированных пациентов. Диагноз был подтвержден путем обнаружения *Cryptococcus neoformans* в ликворе пациентов. Все пациенты имели типичные клинические проявления, такие как головная боль, лихорадка, судороги и изменения в состоянии сознания.

Во всех случаях было достигнуто успешное клиническое выздоровление. У пациентов наблюдалось улучшение симптомов, снижение числа грибов в ликворе и восстановление иммунитета после лечения.

Считаем, что, необходим комплексный подход к лечению криптококкового менингоэнцефалита. Лечение должно включать в себя не только фармакологическую терапию, но и поддерживающую терапию, направленную на укрепление иммунной системы пациента. Важное значение имеет также регулярное мониторингирование состояния пациента и коррекция лечения при необходимости.

Необходимы дальнейших исследований в области лечения КМЭ у пациентов с ВИЧ-инфекцией. Дальнейшее изучение эффективности различных антифунгальных препаратов и оптимальных схем лечения поможет улучшить результаты лечения и снизить смертность от данного заболевания.

## ЛИТЕРАТУРА

- Jarvis J.N., Meintjes G., Williams A., Brown Y., Crede T., Harrison T.S. Adult meningitis in a setting of high HIV and TB prevalence: findings from 4961 suspected cases. *BMC Infect Dis.* 2010; pp.10:67.
- Durski K.N., Kuntz K.M., Yasukawa K., Virnig B.A., Meya D.B., Boulware D.R. Cost-effective diagnostic checklists for meningitis in resource-limited settings. *J. Acquir Immune Defic Syndr.* 2013;63(3): e101–8.
- Rajasingham R., Smith R.M., Park B.J., et al. Global burden of disease of HIV-associated cryptococcal meningitis: an updated analysis. *Lancet Infect Dis.* 2017; 17: pp.873–81.
- Park B.J., Wannemuehler K.A., Marston B.J., Govender N., Pappas P.G., Chiller T.M. Estimation of the current global burden of cryptococcal meningitis among persons living with HIV/AIDS. *AIDS.* 2009; 23: pp.525–30.
- Temfack E. et al. Cryptococcal meningitis in HIV-infected patients: a review of current guidelines and options for management in antiretroviral therapy programs. *AIDS Res Ther.* 2013;10(1): p.19.
- Rodrigues A.S., et al. Reviewing cryptococcosis in HIV-negative patients: a new perspective. *Microorganisms.* 2020;8(8): pp.1196.
- Pappas P.G., et al. Clinical practice guidelines for the management of cryptococcal disease: 2010 update by the Infectious Diseases Society of America. *Clin Infect Dis.* 2010;50(3): pp.291–322.
- Rajasingham R., et al. Cryptococcal meningitis treatment strategies in resource-limited settings: a cost-effectiveness analysis. *PLoS Med.* 2012;9(9): e1001316.
- Волкова О.Е., Венгеров Ю.Я., Сафонова А.П., Овистунова Т.С., Тишкевич О.А. Клиникопатогенетические особенности криптококкового менингоэнцефалита у больных ВИЧ-инфекцией. *Эпидемиология и инфекционные болезни.* 2014;(4): С.25–29.
- Boulware D.R. et al. A trial of a short course of fluconazole for Valley fever in HIV-infected patients. *N Engl J Med.* 2013;368(26):2519–2528.
- Kumari S., Verma R.K., Singh D.P., Yadav R. Comparison of antigen detection and nested PCR in CSF samples of HIV positive and negative patients with suspected cryptococcal meningitis in a tertiary care hospital. *J Clin Diagn Res.* 2016;10(4): DC12.
- Chisale M.A. comparative evaluation of three methods for the rapid diagnosis of cryptococcal meningitis (CM) among HIV-infected patients in Northern Malawi. *Malawi Med J.* 2020;32(1): pp.3–7.

13. Sun H.Y., et al. Clinical experience with primary cryptococcal meningitis in Taiwan: differences between HIV-infected and non-HIV-infected patients. *J. Microbiol Immunol Infect.* 2010;43(5): pp.338–345.
14. Sungkanuparph S. et al. Cryptococcal meningitis in Thai patients with AIDS. *Clin Infect Dis.* 2003;36(8): pp. 106–10.
15. Jarvis J.N. et al. Determinants of mortality in a combined cohort of 501 patients with HIV-associated cryptococcal meningitis: implications for improving outcomes. *Clin Infect Dis.* 2014;58(5): pp.736–745.
16. Molloy S.F. et al. Antifungal combinations for treatment of cryptococcal meningitis in Africa. *N Engl J Med.* 2018;378(11): pp.1004–1017.
17. Rajasingham R., Smith R.M., Park B.J. et al. Global burden of disease of HIV-associated cryptococcal meningitis: an updated analysis. *The Lancet Infectious Diseases.* 2017; 17(8): pp. 873–881.
18. Butler E.K. et al. Antifungal therapeutic drug monitoring in the treatment of cryptococcal meningitis: a systematic review. *Clin Infect Dis.* 2022; 74(3): pp. 497–507.
19. Zhao M. Et al. APX001 pharmacokinetic/pharmacodynamic target determination against *Aspergillus fumigatus* in an in vivo model of invasive pulmonary Aspergillosis. *Antimicrob Agents Chemother.* 2019;63(4): pp. 2372–18.
20. Blackburn S.L. et al. Prospective trial of cerebrospinal fluid filtration after aneurysmal subarachnoid hemorrhage via lumbar catheter (PILLAR). *Stroke.* 2019;50(9): pp.2558–61.
21. Smilnak G.J. et al. Novel treatment of cryptococcal meningitis via neurapheresis therapy. *J. Infect Dis.* 2018;218(7): pp. 1147–54.

---

© Лавренко Владимир Валерьевич (lavrenyuk\_90@bk.ru); Коваленко Галина Викторовна (millefolium1@mail.ru);  
Кудлаева Юлия Александровна (kudlatva25@mail.ru); Галимова Елена Сергеевна (lenusha\_galimova@mail.ru);  
Гончарова Юлия Вадимовна (juliagoncharova09@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ГЕСТАЦИОННЫЙ САХАРНЫЙ ДИАБЕТ: СОВРЕМЕННЫЕ ЗНАНИЯ И ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ДИАГНОСТИКИ, ВЕДЕНИЯ И ЗДОРОВЬЯ МАТЕРИ И ПЛОДА

## GESTATIONAL DIABETES MELLITUS: CURRENT KNOWLEDGE AND ACHIEVEMENTS IN THE FIELD OF DIAGNOSIS, MANAGEMENT AND MATERNAL AND FETAL HEALTH

**E. Lyashenko  
D. Bushueva  
L. Mukosiy**

*Summary.* The article is dedicated to Gestational Diabetes Mellitus (GDM) which is a metabolic disorder that develops during pregnancy and poses risks to both maternal and foetal health. GDM requires a multidisciplinary approach involving healthcare providers, dieticians, and educators to ensure optimal outcomes. Understanding the complexities of GDM is essential for providing effective care and improving the health of pregnant individuals and their offspring. This condition underscores the importance of early diagnosis, appropriate management, and vigilant postpartum care. Regular monitoring and close collaboration between the pregnant individual and their healthcare provider are critical for achieving optimal outcomes. This review provides an overview of GDM, including its definition, prevalence, risk factors, and potential complications. It also discusses the importance of screening and diagnosis, the management of GDM, and the long-term implications for both maternal and foetal health. With proper control and care, many women with gestational diabetes go on to have healthful pregnancies and infants. Controlling blood sugar levels thru lifestyle modifications and scientific guide is prime to decreasing associated risks.

*Keywords:* gestational Diabetes, diagnosis, management, maternal complications, fetal complications, postpartum implications.

**Ляшенко Елена Николаевна**

кандидат медицинских наук, доцент,  
Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский  
институт им. С.И. Георгиевского  
helen.lyashen@mail.ru

**Бушуева Диана Антоновна**

Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский  
институт им. С.И. Георгиевского  
dianabuschueva@yandex.ru

**Мукосий Людмила Андреевна**

Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский  
институт им. С.И. Георгиевского  
mukosiy.luda@gmail.com

*Аннотация.* Статья посвящена гестационному сахарному диабету (ГСД) — нарушению обмена веществ, которое развивается во время беременности и представляет опасность для здоровья как матери, так и плода. ГСД требует междисциплинарного подхода с привлечением медицинских работников, диетологов и педагогов для обеспечения оптимальных результатов. Понимание сложностей ГСД имеет важное значение для обеспечения эффективного ухода и улучшения здоровья беременных женщин и их потомства. Это состояние подчеркивает важность ранней диагностики, надлежащего лечения и бдительного послеродового ухода. Регулярное наблюдение и тесное сотрудничество между беременной женщиной и ее лечащим врачом имеют решающее значение для достижения оптимальных результатов. В этом обзоре представлен обзор ГСД, включая его определение, распространенность, факторы риска и потенциальные осложнения. В нем также обсуждается важность скрининга и диагностики, ведения ГСД и долгосрочные последствия для здоровья матери и плода. При надлежащем контроле и уходе многие женщины с гестационным диабетом продолжают иметь здоровую беременность и рождение ребенка. Контроль уровня сахара в крови с помощью изменения образа жизни и научных рекомендаций имеет первостепенное значение для снижения связанных с этим рисков.

*Ключевые слова:* гестационный диабет, диагностика, лечение, материнские осложнения, внутриутробные осложнения, послеродовые последствия.

### Введение

**Д**иабет, который развивается во время беременности и обычно исчезает после родов, известен как гестационный сахарный диабет или ГСД. Высокий уровень сахара в крови является одним из его отличительных признаков, который может быть вредным как для развивающегося ребенка, так и для матери.

Поскольку, по оценкам, ГСД поражает от 7 % до 14 % беременностей, это представляет собой серьезную проблему для охраны материнства [22].

Контроль гипергликемии на протяжении всей беременности имеет значение для развития плода, а также для здоровья будущей матери. Неконтролируемая гипергликемия во время беременности связана с более высоким риском неблагоприятных исходов, включая макросомию (большой вес при рождении), родовую травму, преждевременные роды и неонатальную гипогликемию. Неадекватное ведение гестационного сахарного диабета может увеличить риск развития у матери гипертензии, диабета 2 типа и кесарева сечения [5].

*Причины гестационного диабета:*

ГСД возникает, когда гормональные изменения во время беременности нарушают выработку и метаболизм инсулина, что приводит к повышению уровня сахара в крови. Развитию ГСД способствуют несколько факторов риска, включая возраст матери, семейный анамнез диабета, ожирение и определенную этническую принадлежность. Понимание этих причин имеет решающее значение для раннего выявления и эффективного лечения [2].

Патогенез гестационного диабета связан с двумя факторами:

1. задержкой реакции бета-клеток на уровень глюкозы или нарушением функции поджелудочной железы;
2. заметное увеличение резистентности к инсулину в результате высвобождения плацентарных гормонов. Пролактин, кортикотропин-рилизинг гормон, прогестерон, гормон роста и другие гормоны также связаны с развитием этого состояния. Эти гормоны также стимулируют резистентность к инсулину и гипергликемию во время беременности [29].

Развитию гестационного диабета способствуют несколько факторов:

*Гормональные изменения.*

Во время беременности плацента вырабатывает гормоны, которые помогают плоду расти и развиваться. Некоторые из этих гормонов могут мешать действию инсулина в организме, затрудняя использование глюкозы клетками для получения энергии. Гормоны плода оказывают глубокое воздействие на протяжении всей беременности, регулируя состояние матери и растущего плода. Хорионический гонадотропин (ХГЧ), плацентарный лактоген человека (ЛЧП), эстроген и прогестерон во многих аспектах играют роль в поддержании беременности. По мере развития беременности выработка плацентой ЛЧП регулирует материнский метаболизм, обеспечивая постоянное снабжение питательными веществами для роста плода. Мощный стимулятор многих физиологических изменений, эстроген, способствует развитию матки и подготавливает организм матери к родам. Прогестерон предотвращает преждевременные роды и создает благоприятные условия для беременности. Вместе эти гормоны плода направляют сложный путь беременности, способствуя благополучию матери и ребенка [21].

*Резистентность к инсулину.*

По мере развития беременности женский организм становится более устойчивым к инсулину. Это означает, что, хотя поджелудочная железа вырабатывает инсулин,

клетки могут не реагировать на него эффективно, что приводит к повышению уровня сахара в крови.

Это вызывает дисбаланс регулирования уровня глюкозы в крови, что приводит к его повышению. Инсулинорезистентность имеет свои основные причины в генетической предрасположенности, ожирении, малоподвижном образе жизни и гормональном цикле. В ответ на эти стимулы поджелудочная железа обычно увеличивает высвобождение инсулина, чтобы противодействовать сниженной чувствительности. Тем не менее, этих компенсаторных механизмов может оказаться недостаточно для нормализации повышенного уровня глюкозы в крови. Инсулинорезистентность может вызвать диабет 2 типа, а также другие метаболические осложнения.

Инсулинорезистентность можно снизить, если придерживаться сбалансированной диеты и заниматься физическими упражнениями или даже принимать лекарства в некоторых случаях.

*Генетика.*

Семейный анамнез диабета может увеличить риск развития гестационного диабета. Если у беременной женщины есть родственник, страдающий диабетом, она может быть более восприимчива к нему. Хотя ГСД в основном возникает из-за резистентности к инсулину во время беременности, человек также может унаследовать некоторые гены, которые делают его склонным к этому заболеванию. Было замечено, что некоторые генетические варианты, связанные с чувствительностью к инсулину, метаболизмом глюкозы и функцией поджелудочной железы, связаны с повышенным риском ГСД. Тем не менее, генетика не сама по себе объясняет, почему возникает ГСД. Существуют и другие важные элементы окружающей среды, такие как диета и образ жизни, которые в значительной степени способствуют объяснению этого состояния. Лица с высоким риском определяются взаимодействием генетической предрасположенности и внешних обстоятельств. Хотя генетика предрасполагает женщину к ГСД, эффективные подходы к лечению и лечению, включающие как генетические, так и экологические аспекты, имеют решающее значение в лечении этого заболевания [1].

*ГСД в анамнезе.*

Если во время предыдущей беременности у пациентки был гестационный диабет, у нее больше шансов развить его снова при последующих беременностях. Эти женщины уязвимы к повторяющимся проблемам метаболизма глюкозы во время последующих беременностей, поскольку этот процесс может изменить реакцию организма на связанные с беременностью гормональ-

ные изменения и резистентность к инсулину. Однако риск не только ограничивается осложненным анамнезом, но также включает в себя некоторые изменения образа жизни, такие как ожирение между двумя беременностями и стойкая гиперинсулинемия после родов. Женщины, у которых был ГСД во время предыдущих беременностей, находятся под пристальным наблюдением медицинских работников, которые инициируют раннее вмешательство с использованием стратегий скрининга и ведения, направленных на предотвращение осложнений. Это упреждающий подход к контролю уровня сахара в крови путем изменения образа жизни, проведения плановых проверок и предоставления необходимой медицинской терапии. Медицинские работники должны осознавать последствия ГСД для предыдущих беременностей и стремиться к улучшению материнских и неонатальных исходов во время новой беременности с ГСД.

#### *Синдром поликистозных яичников (СПКЯ).*

Женщины с СПКЯ подвергаются повышенному риску развития гестационного диабета. СПКЯ — это состояние, характеризующееся гормональным дисбалансом и резистентностью к инсулину. У женщин с синдромом поликистозных яичников (СПКЯ) риск развития ГСД примерно в два раза выше, чем у населения в целом, что позволяет предположить, что СПКЯ может служить значимым фактором риска развития ГСД во время беременности. Инсулинорезистентность является одним из признаков СПКЯ и повышает восприимчивость женщин к высоким уровням глюкозы. Глюкоземия, которая может быть связана с ранее существовавшей резистентностью к инсулину при этом состоянии, может еще больше усугубляться из-за гормональных изменений, связанных с СПКЯ во время беременности. Эти гормональные нарушения, в основном гиперандрогения и гиперинсулинемия, вызывают непереносимость глюкозы у женщин с СПКЯ, что подвергает их риску развития ГСД. Более того, СПКЯ также связан с ожирением и высоким ИМТ, что еще больше повышает риск ГСД. Беременные женщины с СПКЯ находятся под тщательным наблюдением с помощью раннего скрининга на ГСД и последующих мер вмешательства, таких как изменение диеты, программы упражнений и, при необходимости, прием лекарств для контроля уровня глюкозы в крови и предотвращения осложнений ГСД. Взаимосвязь между СПКЯ и ГСД и то, как это помогает предпринять соответствующие действия для оптимального здоровья матери и плода во время беременности в случае, если у женщины есть СПКЯ. Мало того, что точная причина гестационного диабета не всегда известна, многие женщины, у которых развивается это заболевание, не имеют ни одного из этих факторов риска. Для поддержания здоровья будущего ребенка и будущей матери регулярные пренатальные обследования, включающие определение уровня глюкозы, могут помочь в диагностике и лечении гестационного диабета. Соблю-

дение рекомендаций врача по правильному лечению обычно влечет за собой изменение диеты, физические упражнения и иногда прием лекарств (например, инсулина или пероральных препаратов) [5].

Адипонектин играет очень важную физиологическую роль в сенсibilизации инсулина к глюкозе крови. Кроме того, он играет антиатерогенную и противовоспалительную роль в поддержании иммунологического взаимодействия между кровью матери и плода через плацентарный барьер [3]. Отмечается значительное снижение регуляции адипонектина при артериальной гипертензии, сердечно-сосудистых осложнениях и ожирении, обусловленных СД2 и/или ГСД. Адипонектин может быть эффективным биомаркером для прогнозирования начала ГСД [3]. Необходимы дальнейшие исследования для раннего прогнозирования ГСД в виде повышения уровня адипонектина в течение 25–28 недель беременности.

Гормон лептин, полученный из адипоцитов, под контролем гипоталамуса играет важную роль в регуляции метаболической обратной связи, которая контролирует потребление пищи. Сбой в работе лептина может привести к нерегулярному приему пищи и хроническому ожирению [33, с. 494]. Чрезмерная экспрессия лептина способствует увеличению веса и ожирению, что может заставить поджелудочную железу выделять больше инсулина в кровь, состояние, называемое гиперинсулинемией. Концентрация ФНО-альфа и ИЛ-6 в крови повышается при гиперконцентрации лептина. Исследования показали, что концентрация лептина очень высока у беременных женщин с ожирением, страдающих ГСД [33].

Висфатин, адипокин, полученный из висцерального жира, демонстрирует повышенную концентрацию при гипергликемии и ожирении и непостоянен при ГСД [9]. Его выраженность более выражена в первом и втором триместре беременности и постепенно снижается в третьем триместре [9].

Белок ГСПГ имеет обратную связь с инсулином. Нормальная концентрация ГСПГ у женщин находится в диапазоне от 18 до 144 нмоль/л. Было замечено, что состояние инсулинорезистентности очень сильно выражено у беременных женщин с низким уровнем ГСПГ, что постепенно приводит к ожирению и ГСД. Установлено, что низкий уровень ГСПГ на 13–16-й неделе может приводить к возникновению ГСД [10].

Было исследовано, что по мере прогрессирования беременности происходит повышение регуляции таких факторов, как плацентарный лактоген человека (hPL), эстроген, прогестерон, кортизол и пролактин соответственно, что может снижать периферическую чувствительность к инсулину [14]. Снижение  $\beta$ -клеточной

дисфункции поджелудочной железы, повышенная экспрессия инсулина и стимулированная глюкозой секреция инсулина могут привести к гиперинсулинемии, приводящей к резистентности инсулина к глюкозе крови. Это нестабильное метаболическое состояние повышает уровень глюкозы в крови и свободных жирных кислот, способствуя развитию ГСД у беременных женщин. При ГСД-ассоциированной беременности отмечается значительное увеличение экспрессии белка, связывающего адипоциты, и снижение экспрессии PPAR-γ и хроническое воспаление из-за дефектной функции IRS-1 и фосфорилирования рецепторов инсулина [14].

### Модели *in vitro* и *in vivo* для исследования ГСД

В последние годы был достигнут значительный прогресс в разработке экспериментальных моделей *in vitro* и *in vivo* для исследования патофизиологии СД2 и ГСД. Существуют определенные модели культивируемых клеток *in vitro*, полученные из клеток млекопитающих, которые могут помочь нам понять основные маркеры, связанные с осложнениями матери или плода во время беременности [4].

Клеточные линии, такие как BRIN-BD11, представляют собой клональную инсулин-секретирующую клеточную линию млекопитающих, подвергающуюся глюкогенной стимуляции, и работают как эффективный фармакологический модулятор. Эта клеточная линия широко используется в исследованиях лекарственных мишеней и функционально имитирует β-клетки поджелудочной железы. INS-1 — это еще одна клеточная линия млекопитающих, полученная из инсулиномы крысы. Это стабильная клеточная линия с высокой пролиферативной способностью, но менее чувствительная к глюкозе по сравнению с клетками первичных островков. Аналогичным образом, бессмертные непрерывные клеточные линии, такие как PANC-1, являются надежными клеточными линиями, экспрессирующими широкий спектр генов и белков, связанных с производством инсулина [4, 7, с. 2092]. Линия клеток плаценты хориокарциномы использовалась во многих предыдущих исследованиях для профилирования эффекта поглощения глюкозы и широко использовалась в исследованиях, связанных с ГСД [7, с. 2091]. Стабильность и легкость обращения с этими трансформированными клеточными линиями с точки зрения регулярного пассажа и поддержания намного лучше по сравнению с первичными клетками трофобласта, которые непосредственно выделяются из плацентарной ткани. Наибольшей проблемой при проведении работ с клетками первичного плацентарного трофобласта является их низкая продуктивность, клеточная жизнеспособность и ограниченная продолжительность жизни [7, с. 2090; 20, с. 1383]. Линии плацентарных клеток, такие как BeWo, JEG и JAR-клетки, были использованы в качестве клеточных моделей для изучения механистическо-

го влияния миостатина на поглощение глюкозы. Клетки BeWo являются широко признанными клеточными линиями для исследований транспорта плаценты человека [20, с. 1379]. Эти клетки способствуют поглощению глюкозы в плацентарной системе через транспортеры GLUT-1, -3 и -4 [24]. Sw.71, иммортализованные клетки трофобласта человека — hTERT, получают из плацентарной ткани здоровой беременной женщины на седьмой неделе (первый триместр) и увековечивают путем вирусного заражения ее hTERT. Эти клеточные линии хорошо имитируют физиологические свойства вневорсинчатых клеток трофобласта [32, с. 30]. Клеточная линия Sw.71 используется в качестве мощного инструмента для изучения трофобласта и может помочь в скрининге ранних биомаркеров ГСД в первом триместре.

Хирургически индуцированные *in vivo* модели грызунов широко используются на животных моделях ГСД, и эти модели демонстрируют частичную диабетическую фенотипическую экспрессию [20, с. 1384]. Изменение рациона питания является еще одним способом создания диабетической модели у беременных мышей. Некоторые подходы, такие как непрерывная инфузия глюкозы или высокое содержание жиров в рационе, могут вызвать ожирение, которое является основным маркером, начала ГСД у беременных мышей. Диеты с высоким содержанием жиров и фруктозы развивают СД2 и ГСД и связаны с другими метаболическими осложнениями, такими как фиброз печени, окислительный стресс и воспаление [20, с. 1381]. Для плацентарных исследований, особенно в случае ГСД, введение STZ беременным мышам является основной стратегией для разработки модели сахарного диабета *in vivo*. Разработка моделей на мышах в соответствии с описанной выше стратегией выявляет не только структурные и функциональные аномалии, но и аномальную генетическую экспрессию при определенных метаболических условиях [20, с. 1377]. Модели *in vivo*, такие как CIM и BV крысы, широко используются для оценки влияния внутриутробной среды на развитие плода. Модель нуль-мутантных мышей, *Socs2*, оказалась одной из наиболее эффективных моделей ГСД, связанной со старением, поскольку модели пожилых беременных мышей показывают более низкие показатели рождаемости и высокой смертности, а вероятность развития плода, пораженного макросомией, очень высока [20, с. 1380].

#### *Риски, связанные с гестационным диабетом:*

Гестационный диабет представляет опасность, как для матери, так и для ребенка. Для матери это увеличивает вероятность развития диабета 2 типа в более позднем возрасте и повышает риск преэклампсии, кесарева сечения и послеродовой депрессии. Ребенок также подвержен риску макросомии (большого веса при рождении), родовых травм, гипогликемии и более высокого

вероятность развития ожирения и диабета 2 типа в будущем [13, с. 15].

Для матери гестационный диабет увеличивает риск развития высокого артериального давления (преэклампсии) и кесарева сечения. Это также повышает вероятность развития диабета 2 типа позже [6]. Для ребенка гестационный диабет увеличивает риск избыточного веса при рождении (макросомия), что может привести к трудностям во время родов и повышению вероятности кесарева сечения. Дети, рожденные от матерей с гестационным диабетом, также подвергаются более высокому риску низкого уровня сахара в крови (гипогликемии) сразу после рождения. У них также могут возникнуть проблемы с дыханием, и в более позднем возрасте они имеют более высокий риск развития диабета 2 типа [19].

Правильное ведение гестационного диабета, включая регулярный мониторинг уровня глюкозы в крови и пренатальные осмотры, имеет решающее значение для отслеживания прогресса и корректировки планов лечения. Модификации образа жизни, такие как здоровое питание, регулярная физическая активность и контроль веса, также могут помочь снизить риски, связанные с гестационным диабетом.

#### *Скрининг и диагностика:*

Скрининг гестационного диабета обычно проводится между 24 и 28 неделями беременности. Наиболее распространенным методом диагностики является пероральный тест на толерантность к глюкозе (ОГТТ), при котором уровень глюкозы в крови измеряется до и после употребления раствора глюкозы. Раннее выявление посредством надлежащего скрининга имеет значение для своевременного вмешательства и лечения [25].

#### *Одноэтапный и двухэтапный скрининг:*

Одноэтапный подход обеспечивает немедленную диагностику, уменьшая необходимость последующего визита или дополнительного тестирования для подтверждения. Однако это может привести к несколько более высоким показателям диагностики ГСД по сравнению с двухэтапным методом. С другой стороны, двухэтапный подход предлагает предварительный скрининг для выявления тех, кому может потребоваться дальнейшее тестирование, что потенциально сокращает количество ненужных диагностических процедур. Исторически это было связано с более низкой частотой диагностики ГСД, но также может пропускать случаи, которые можно было бы обнаружить с помощью одноэтапного метода.

#### *Универсальный скрининг против скрининга на основе риска:*

Универсальный скрининг проверяет всех беременных женщин с некоторыми факторами риска или без них

в течение периода от 24 до 28 недель. Этот подход помогает выявить не диагностированные случаи ГСД с целью раннего вмешательства. Такое вмешательство приводит к улучшению показателей здоровья матери и плода. Это проактивный подход, который не зависит от определенных факторов риска и имеет более широкую сеть поиска таких потенциальных случаев. Напротив, скрининг на основе риска нацелен только на тех женщин, которые считаются подверженными более высокому риску ГСД из-за таких факторов, как ожирение, семейный анамнез диабета, большой материнский возраст или предыдущая история ГСД. Этот подход включает выборочный скрининг лиц на основе выявленных факторов риска, потенциально пропуская случаи у женщин без явных факторов риска.

#### *Непрерывный мониторинг уровня глюкозы (CGM):*

Непрерывный мониторинг уровня глюкозы (НГМ) стал новой эпохой в лечении гестационного сахарного диабета (ГСД) во время беременности. Это современное устройство включает в себя небольшой датчик на коже, который постоянно измеряет уровень глюкозы в интерстициальной жидкости. Он предлагает актуальную информацию об изменениях уровня сахара в крови, предоставляя более полную информацию о том, как различные факторы, такие как потребление пищи и физические нагрузки, влияют на уровни глюкозы в течение дня. Эта технология играет ключевую роль в предоставлении людям с ГСД возможности активно участвовать в управлении своим состоянием, продавая лучшие результаты во время беременности и снижая риски, связанные с повышением уровня сахара в крови, как для матери, так и для ребенка [15, с. 9].

#### *Скрининг на ранних сроках беременности:*

Обычно скрининг проводится на сроке от 24 до 28 недель беременности и включает оценку уровня глюкозы, чтобы выявить любые отклонения в метаболизме сахара. Однако в некоторых случаях, особенно если присутствуют факторы риска, а также проблемы с весом, наличие ГСД или наличие диабета у родственников, скрининг может быть проведен заранее у беременной. Раннее выявление ГСД позволяет медицинским работникам напрямую принимать меры, которые включают корректировку диеты, физические упражнения или, при желании, лекарства для контроля уровня сахара в крови. Приняв своевременные меры, можно смягчить риски, связанные с неконтролируемым уровнем глюкозы, уменьшив вероятность осложнений на определенном этапе беременности, включая макросомию (большой вес при рождении), преэклампсию и проблемы, связанные с началом беременности. Ранний скрининг играет решающую роль в активном управлении ГСД.

*Лечение гестационного диабета:*

Основная цель лечения ГСД — поддержание нормального уровня сахара в крови, чтобы свести к минимуму осложнений, как для матери, так и для ребенка. Это достигается за счет изменения образа жизни, включая здоровое питание, регулярную физическую активность и контроль уровня сахара в крови. В некоторых случаях для эффективного контроля уровня сахара в крови могут потребоваться лекарства или инсулинотерапия. Первыми шагами в лечении гестационного диабета являются нефармакологические меры, такие как диетическое питание, физическая активность, и мониторинг глюкозы в крови [9].

Фармакологическое лечение следует начинать, если гликемический профиль пациентки неадекватен даже при соблюдении диеты и физических упражнениях. Инсулин является основным препаратом выбора ADA для лечения ГСД [26].

*Классификация сахароснижающих средств при ГСД:***Инсулинотерапия**

Инсулин остается краеугольным камнем лечения гестационного диабета из-за его способности эффективно снижать уровень глюкозы в крови. Его подразделяют на несколько типов в зависимости от начала, пика и продолжительности действия [35].

Инсулин быстрого действия: обеспечивает быстрое начало и короткую продолжительность действия, часто используется для контроля всплесков уровня глюкозы.

Инсулин короткого действия (обычный инсулин): имеет немного более медленное начало, но более длительную продолжительность действия по сравнению с инсулином быстрого действия.

Инсулин промежуточного действия: обеспечивает более продолжительный эффект, часто используется для контроля уровня глюкозы в крови натощак.

Инсулин длительного действия (базальный инсулин): обеспечивает непрерывное высвобождение инсулина для поддержания стабильного уровня глюкозы между приемами пищи и в ночное время.

**Пероральные противодиабетические средства**

Хотя инсулин является основным методом лечения, некоторые пероральные противодиабетические средства иногда используются для лечения гестационного диабета. К этим агентам относятся:

Метформин: Сенситизатор инсулина, который снижает выработку глюкозы в печени и улучшает периферическую чувствительность к инсулину.

Глибурид: Препарат сульфонилмочевины, который стимулирует секрецию инсулина бета-клетками поджелудочной железы.

Акарбоза: Ингибитор альфа-глюкозидазы, который замедляет переваривание и всасывание углеводов, уменьшая постпрандиальные всплески глюкозы.

**Новые методы лечения**

Последние достижения в фармакологии привели к появлению новых антигипергликемических средств, которые исследуются для использования при гестационном диабете:

Агонисты рецептора GLP-1: имитирует действие гормонов инкретина, усиливая секрецию инсулина, уменьшая высвобождение глюкагона и задерживая опорожнение желудка.

Ингибиторы DPP-4: предотвращает деградацию гормонов инкретина, что приводит к улучшению секреции инсулина и снижению уровня глюкагона.

Во многих случаях инсулин считается средством первой линии лечения гестационного диабета, поскольку он может эффективно контролировать уровень глюкозы в крови и имеет давно доказанную безопасность во время беременности. Пероральные противодиабетические средства, такие как глибурид и метформин, можно рассмотреть в особых ситуациях, когда инсулин непрактичен или когда есть опасения по поводу использования инсулина [23].

В конечном счете ведение гестационного диабета должно быть индивидуализированным, а решения о лечении должны приниматься в сотрудничестве с медицинскими работниками, которые могут тщательно оценить историю болезни пациентки и ее конкретные потребности, чтобы обеспечить наилучшие возможные результаты, как для матери, так и для ребенка. Крайне важно помнить, что использование сахароснижающих препаратов при гестационном диабете должно подкрепляться тщательной оценкой, индивидуализированными стратегиями лечения и глубоким знанием преимуществ и недостатков каждого класса. Выбор терапии часто зависит от таких переменных, как предпочтения пациента, контроль уровня глюкозы у матери и потенциальное влияние на исходы беременности.

**Эффективность антигипергликемических средств.***Инсулиновая терапия*

Материнские гликемические показатели: Инсулиновая терапия связана с улучшением гликемических по-

казателей у матери. Лучший контроль гликемии достигается за счет эффективного снижения уровня глюкозы в крови натощак и после приема пищи.

### Пероральные противодиабетические средства

#### Метформин

Материнские гликемические показатели: было показано, что метформин снижает уровень глюкозы в крови натощак и улучшает чувствительность к инсулину у некоторых женщин с гестационным диабетом. Однако его эффективность может варьироваться у разных людей.

Результаты плода: Некоторые исследования показали, что метформин может быть связан с более низким риском макросомии и чрезмерного роста плода по сравнению с другими методами лечения. Однако необходимы дополнительные исследования, чтобы установить его безопасность и долгосрочное воздействие на плод.

При осторожном применении инсулинотерапия по-прежнему остается проверенным и успешным методом лечения гестационного диабета, регулярно демонстрируя улучшение гликемических показателей у матери и положительные результаты для плода. Хотя они и являются вариантами, пероральные противодиабетические препараты, такие как глибурид и метформин, должны быть тщательно оценены на предмет безопасности и эффективности для каждого пациента. Новые методы лечения, такие как ингибиторы ДПП-4 и агонисты рецепторов ГПП-1, кажутся многообещающими, но необходимы дополнительные исследования, чтобы понять их функцию в лечении гестационного диабета. Тщательная оценка здоровья матери и плода должна стать основой для выбора сахароснижающего препарата [11, с. 10].

### Осложнения у матери и плода

#### Материнские осложнения:

#### Преэклампсия:

Женщины с ГСД подвергаются повышенному риску развития преэклампсии — состояния, характеризующегося высоким кровяным давлением, белком в моче и иногда органной дисфункцией. Преэклампсия может быть опасна как для матери, так и для плода. Это состояние характеризуется повышенным артериальным давлением и признаками поражения других систем органов, обычно возникающими после 20 недель беременности. В сочетании с ГСД риски для мамы и малыша также могут возрасти. Женщины с диагнозом ГСД подвергаются более высокому риску развития преэклампсии по сравнению с женщинами без ГСД. Преэклампсия может привести к многочисленным осложнениям, включая пре-

ждевременные роды, ограничение роста плода или даже ситуации, угрожающие жизни матери и ребенка. Бдительный мониторинг и скоординированная помощь со стороны медицинских компаний имеют решающее значение для людей с ГСД, поскольку они могут подвергаться повышенному риску преэклампсии. Контроль уровня сахара в крови, регулярные пренатальные осмотры и своевременные вмешательства могут значительно снизить вероятность и тяжесть осложнений, связанных с каждым ГСД и преэклампсией, обеспечивая более безопасные и здоровые конечные результаты беременности [31, с. 277].

#### Гестационная гипертензия:

ГСД может способствовать развитию гестационной гипертензии, которая характеризуется повышенным артериальным давлением во время беременности. Это состояние увеличивает риск преэклампсии. Гестационная гипертензия обычно возникает после 20 недель беременности и может приводить к головным болям наряду с преэклампсией, преждевременным родами и задержкой роста плода. В сочетании с ГСД риски неблагоприятных последствий увеличиваются, что требует тщательного мониторинга и контроля [30].

#### Повышенный риск диабета 2 типа:

Женщины, у которых был ГСД, имеют значительно больший риск развития диабета 2 типа по сравнению с людьми, у которых не было диагностированного ГСД. Эта связь подчеркивает важность соблюдения режима послеродового периода и постоянного отслеживания уровня сахара в крови после беременности. Изменения образа жизни, включающие соблюдение режима здорового питания, регулярные физические упражнения и контроль веса, играют ключевую роль в снижении угрозы роста диабета 2 типа после ГСД. Более того, обычные обследования на диабет после родов имеют решающее значение для выявления и лечения любых ранних признаков и симптомов или признаков, обеспечивая своевременное вмешательство и реализацию профилактических мер [18].

#### Повышенный риск будущих сердечно-сосудистых заболеваний:

Гестационный сахарный диабет (ГСД) во время беременности представляет собой огромную проблему после родов, поскольку повышает вероятность развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) у матери. Женщины, у которых был ГСД, имеют повышенную предрасположенность к развитию сердечно-сосудистых заболеваний в более позднем возрасте, включая гипертензию, ишемическую болезнь сердца и инсульт. Основные механизмы, связывающие ГСД с повышенным сердечно-со-

судистым риском, включают резистентность к инсулину и метаболический дисбаланс на определенном этапе беременности. Постоянное отслеживание артериального давления, уровня холестерина и сахара в крови во время беременности в сочетании с регулярными медицинскими осмотрами крайне важно для лечения и снижения риска развития сердечно-сосудистых заболеваний. Раннее вмешательство и упреждающие меры могут значительно снизить риск, способствуя более благоприятным последствиям для здоровья сердечно-сосудистой системы в долгосрочной перспективе [16].

#### **Кесарево сечение:**

Хотя не все беременности, сопровождающиеся ГСД, приводят к кесареву сечению, некоторые элементы, связанные с ГСД, наряду с макросомией, могут дополнительно потребовать этого способа родоразрешения. Однако выбор способа родоразрешения индивидуален и зависит от различных факторов, в том числе от общего состояния здоровья матери и ребенка [13].

*Осложнения у плода:*

#### **Макросомия:**

Повышенный уровень сахара в крови у матери может привести к увеличению выработки инсулина плодом, в результате чего накопление лишнего жира и рост ребенка больше среднего. Это состояние повышает риск осложнений во время родов, поскольку более крупный ребенок может столкнуться с трудностями при прохождении через родовые пути, что увеличивает вероятность родовых травм и необходимости кесарева сечения. Кроме того, макросомия создает риски для ребенка, включая дистоцию плеч (трудности при рождении плеч после головы), повышенную вероятность гипогликемии после рождения, а также более высокий риск ожирения и диабета 2 типа в более позднем возрасте [13].

#### **Неонатальная гипогликемия:**

У детей матерей с ГСД может наблюдаться быстрое падение уровня сахара в крови после рождения, поскольку они подвергались воздействию более высокого уровня глюкозы в утробе матери. Это резкое изменение может поставить под угрозу способность новорожденного самостоятельно регулировать уровень сахара в крови. Неонатальная гипогликемия может привести к различным осложнениям, включая судороги, проблемы развития и, в тяжелых случаях, неврологические нарушения. Медицинские работники внимательно следят за младенцами из группы риска, особенно за детьми, рожденными от матерей с ГСД, регулярно проверяя уровень сахара в крови после рождения. В некоторых случаях для поддержания стабильного уровня сахара

в крови может потребоваться раннее кормление или добавление глюкозы [17].

#### **Респираторный дистресс-синдром (РДС):**

В некоторых случаях дети могут родиться преждевременно из-за осложнений, связанных с высоким уровнем сахара в крови или других связанных с этим состояний. Преждевременные роды могут увеличить вероятность РДС, поскольку легкие ребенка, не производят достаточного количества сурфактанта — вещества, которое помогает держать альвеолы открытыми, что затрудняет дыхание новорожденного. Хотя не каждый ребенок, рожденный от матери с ГСД, будет страдать РДС, медицинские работники тщательно наблюдают за этими младенцами, особенно недоношенными или крупными детьми, обеспечивая необходимую поддержку, такую как заместительная терапия сурфактантом или респираторная помощь, для лечения РДС и обеспечения оптимальной дыхательной функции новорожденного [10].

#### **Гипербилирубинемия (желтуха):**

Из-за таких факторов, как повышенная масса тела при рождении или специфические метаболические нарушения, связанные с ГСД, у детей женщин с этим заболеванием вероятность развития гипербилирубинемии может быть выше. Хотя умеренная желтуха типична для младенцев и обычно проходит сама по себе, высокий уровень билирубина может вызвать осложнения, включая ядерную желтуху или повреждение головного мозга [34].

#### **Мертворождение:**

На рост и развитие плода может влиять снижение кровоснабжения плода в результате повышенного уровня сахара в крови при гестационном сахарном диабете (ГСД). Кроме того, существует сильная корреляция между ГСД и другими факторами риска, такими как высокое кровяное давление, ожирение и большой возраст матери, которые увеличивают вероятность мертворождения. Плохо контролируемый ГСД может увеличить риск мертворождения, хотя при правильном мониторинге и ведении этот риск обычно невелик [27].

#### **Риск ожирения и диабета:**

Беременность, осложненная гестационным сахарным диабетом (ГСД), может подвергнуть плод более высокому риску ожирения и диабета в будущем. ГСД подвергает плод повышенному уровню глюкозы в утробе матери, что может повлиять на метаболические программы ребенка и нарушить развитие плода. Эта измененная метаболическая среда может сделать ребенка более восприимчивым к ожирению и диабету 2 типа в будущем. Согласно исследованиям, дети, рожденные

от женщин с ГСД, могут с большей вероятностью накапливать жир, что увеличивает риск детского ожирения. Кроме того, существует более высокая вероятность того, что у этих детей возникнет резистентность к инсулину, что является предпосылкой к диабету 2 типа [28].

### Заключение

На здоровье матери и плода существенно влияет гестационный сахарный диабет, который по-прежнему остается серьезной проблемой общественного здравоохранения. Чтобы уменьшить влияние ГСД на исходы для матери и плода, необходимо улучшить знания и лечение этого заболевания. Гормональные изменения являются основной причиной развития ГСД. ГСД может вызывать осложнения, как у будущего ребенка, так и у матери. Ос-

ложнения для матери могут включать повышенное кровяное давление, кесарево сечение и более высокий риск развития диабета 2 типа в будущем. У младенца могут возникнуть такие проблемы, как макросомия (большой вес при рождении), послеродовая гипогликемия и более высокий риск развития диабета 2 типа в более позднем возрасте.

Однако эти риски можно снизить с помощью соответствующего лечения и корректировки образа жизни. Ключом к лечению ГСД является правильное питание, частые физические упражнения, регулярный контроль уровня сахара в крови и, при необходимости, прием лекарственных средств. Чтобы защитить здоровье матери и ребенка, крайне важно, чтобы ведению ГСД уделялось первоочередное внимание.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Али Н., Альдахери А.С., Альнеяди Х.Х., Алазизи М.Х., Аль-Дахери С.С., Лоуни Т., Ахмед Л.А. Влияние гестационного сахарного диабета в анамнезе на поведение во время будущей беременности: исследование Мутаба. / Окружающая среда и общественное здравоохранение. 2020.
2. Альфадли Э.М. Гестационный сахарный диабет. // Медицинский журнал Саудовской Аравии. 2015.
3. Ао Д.; Ванг Х.-Дж.; Ванг Л.-Ф.; Сонг Дж.-Ю.; Янг Х.-Х.; Ванг Ю. Полиморфизм rs2237892 гена KCNQ1 влияет на гестационный сахарный диабет и уровень глюкозы в крови: исследование типа «Случай-контроль» и мета-анализ. // PLoS ONE. 2015.
4. Бимиш С.А.; Чжан Л.; Шлапински С.К.; Стратт Б.Дж.; Хилл Д.Дж. Увеличение количества незрелых  $\beta$ -клеток, лишенных Glut2, предшествует увеличению массы  $\beta$ -клеток у беременных мышей. // PLoS ONE. 2017.
5. Бьюкенен Т.А., Сян А.А., Пейдж К.А. Гестационный сахарный диабет: риски и лечение во время и после беременности. // Отечественный эндокринологический обзор. 2012.
6. Вайсгербер Т.Л., Мадд Л.М. Преэклампсия и сахарный диабет. // Обзор терапии диабета. 2015.
7. Дженевей М.; Понтес Х.; Меда, П. Адаптация бета-клеток во время беременности: основное различие между людьми и грызунами? // Диабетология. 2010. С. 2089–2092.
8. Зуграву С., Петра А., Петрошешель В.А., Михай Б.М., Михай Да, Богильца Р.Е., Тарча М. Вмешательства в области питания и изменения образа жизни при профилактике гестационного сахарного диабета: краткий обзор. // Устойчивое развитие. 2023.
9. Иммануэль Дж.; Симмонс Д.; Харрайтер Дж.; Десой Г.; Коркой Р.; Аделантадо Дж.М.; Девлигер Р.; Лаполла А.; Дальфра М.Г.; Бертолотто А.; и др. Метаболические фенотипы при раннем гестационном сахарном диабете и их связь с неблагоприятными исходами беременности. // Диабет и медицина. 2021.
10. Йылдыз Атар Х., Баатц Д.Э., Райан Р.М. Молекулярные механизмы влияния материнского диабета на сурфактант плода и новорожденного. // Дети (Базель). 2021.
11. Калра Б., Гупта Ю., Сингла Р., Калра С. Применение пероральных антидиабетических средств во время беременности: прагматичный подход. // Отечественный медицинский журнал. 2015, С.6–12.
12. Кейси К., Шакья С., Чжан Х. Гестационный сахарный диабет и макросомия: обзор литературы. // Презентация: метаболизм. 2015. С. 14–20.
13. Кейси К., Шакья С., Чжан Х. Гестационный сахарный диабет и макросомия: обзор литературы. // Презентация: метаболизм. 2015.
14. Коцаэриди Г.; Блэттер Дж.; Эппель Д.; Росицки И.; Линдер Т.; Гейслер Ф.; Хун Э.А.; Хесли И.; Тура А.; Гебл К.С. Характеристики подтипов гестационного диабета, классифицированных по показателям перорального теста на толерантность к глюкозе. // Европейский клинический журнал. 2021.
15. Ли А., Брэкенридж А. Роль непрерывного мониторинга уровня глюкозы во время беременности. // Международный журнал фармацевтической науки. 2022, С. 6–10.
16. Мао Ю., Ху У., Ся Б., Лю Л., Хан Х., Лю К. Связь между гестационным сахарным диабетом и риском развития специфических сердечно-сосудистых заболеваний. // Фронт общественного здравоохранения. 2022.
17. Митанчез Д., Изидорчик С., Симеони У. О каких неонатальных осложнениях должен знать педиатр в случае гестационного диабета у матери? // Всемирный диабетический журнал. 2015.
18. Ноктор Э., Данн Ф.П. Сахарный диабет 2 типа после гестационного диабета: влияние изменения диагностических критериев. // Всемирный диабетический журнал. 2015.
19. Орной А., Беккер М., Вайнштейн-Фудим Л., Эргаз З. Сахарный диабет во время беременности: Заболевание матери, осложняющее течение беременности и оказывающее долгосрочное вредное воздействие на потомство. Клинический обзор. // Международный журнал молекулярной науки. 2021.
20. Пантен У.; Вилленборг М.; Шумахер К.; Хамада А.; Гали Х.; Рустенбек, И. Острое метаболическое усиление секреции инсулина в островках мыши опосредовано экспортом метаболитов митохондриями, но не выработкой энергии митохондриями. // Клинические исследования метаболизма. 2013. С. 1375–1386.

21. Петерсен М.К., Шульман Г.И. Механизмы действия инсулина и инсулинорезистентность. // Физиологический обзор. 2018.
22. Плоуз Дж. Ф., Стэнли Дж.Л., Бейкер П.Н., Рейнольдс С.М., Викерс М.Х. Патопфизиология гестационного сахарного диабета. // Международный журнал молекулярной науки. 2018.
23. Прия Г., Калра С. Применение метформина при лечении сахарного диабета во время беременности и кормления грудью. // Наркотики. 2018.
24. Пухалович К.; Рац М.Е. Многофункциональность CD36 при сахарном диабете и его осложнениях — современные подходы к патогенезу, лечению и мониторингу. // Клетки. 2020.
25. Рани П.Р., Бегум Дж. Скрининг и диагностика гестационного сахарного диабета, на чем мы стоим. // Журнал клинической диагностики, 2016.
26. Расмуссен Л., Поулсен К.У., Кампманн У., Смедегаард С.Б., Овесен П.Г., Фульсанг Дж. Диета и здоровый образ жизни в лечении гестационного сахарного диабета. // Питательные вещества. 2020.
27. Розенштейн М.Г., Ченг Ю.В., Сноуден Д.М., Николсон Д.М., Досс А.Э., Кохи А.Б. Риск мертворождения и младенческой смерти в зависимости от срока беременности у женщин с гестационным диабетом. // Акушерство-гинекология. 2012.
28. С. Ка, Луо С., Ван Х., Чоу Т., Алвес Дж., Бьюкенен ТА, Сян А. У детей, страдающих ожирением матери или гестационным сахарным диабетом на ранних стадиях внутриутробного развития, наблюдаются изменения гипоталамуса, которые предсказывают увеличение веса в будущем. // Лечение диабета. 2019.
29. Салазар-Петрес Э.Р., Ферруцци-Перри А.Н. Изменения функции  $\beta$ -клеток, вызванные беременностью: каковы ключевые факторы? // Журнал физиологии. 2022.
30. Салливан С.Д., Уманс Ю.Г., Ратнер Р. Артериальная гипертензия, осложняющая беременность при сахарном диабете: патофизиология, лечение и противоречия. // Клиника гипертонии (Гринвич). 2011.
31. Филпс Е.А., Тадхани Р., Бензинг Т., Каруманчи С.А. Преэклампсия: патогенез, новые методы диагностики и лечения. // Отечественный нефрологический обзор. 2019, С. 275–289.
32. Фонтейн Д.А.; Дэвис Д.Б. Внимание к фоновому штамму важно для метаболических исследований: C57BL/6 и Международный консорциум мышей-нокаутеров. // Диабет. 2016. С. 25–33.
33. Хувинен Э.; Эрикссон Дж.Г.; Койвусало С.Б.; Гротенфельт Н.; Тиитинен А.; Стах-Лемпинен Б.; Рене К. Гетерогенность гестационного диабета (ГСД) и долгосрочный риск развития диабета и метаболического синдрома: результаты исследования RADIEL. // АктаДиабетол. 2018. С. 493–501.
34. Цзян Н., Цянь Л., Линь Г., Чжан И., Хонг С., Сунь Б., Ван Х., Хуан М., Ван Дж., Цзян К. Показатели материнской крови и риск развития патологической желтухи новорожденных: ретроспективное исследование. // Научный представитель 2023.
35. Чоудхури А.А., Раджешвари В.Д. Гестационный сахарный диабет — нарушение обмена веществ и репродуктивной функции. // Биомедицина и фармакотерапия. 2021.

© Ляшенко Елена Николаевна (helen.lyashen@mail.ru); Бушуева Диана Антоновна (dianabuschueva@yandex.ru);

Мукосий Людмила Андреевна (mukosiy.luda@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПОТЕРЯ ЗУБОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ГРАНУЛЕМАТОЗНОГО ПЕРИОДОНТИТА ПОСЛЕ ПЕРЕНЕСЕННОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ. АНАЛИЗ 8-МИ СЛУЧАЕВ ИЗ ПРАКТИКИ

**Мелкумян Гор Акопович**

стоматолог-хирург, имплантолог, ортопед,  
главный врач, клиника Новадент г. Москва;  
ведущий специалист, клиника Wellmed г. Ереван  
melkumyan.gor@gmail.com

## TOOTH LOSS DUE TO GRANULOMATOUS PERIODONTITIS AFTER CORONAVIRUS INFECTION. A CASE REPORT OF EIGHT CASES

**G. Melkumian**

**Summary.** The SARS-CoV-2 virus is characterized by its ability to affect various organs both through direct infection and through the body's immune response. The lack of oral hygiene, opportunistic infections, stress, immunosuppression, vasculitis, and hyperinflammatory response are predisposing factors for oral cavity lesions in patients with COVID-19. Often, after recovering from the coronavirus infection, a significant number of outwardly healthy and young patients develop severe complications. One of them is granulomatous periodontitis — a chronic multifactorial inflammatory disease characterized by progressive destruction of tooth-supporting structures. The active form of chronic periodontitis is accompanied by the formation of granulomas, fistulas, granulomas, and the occurrence of abscesses in the periapical tissues. The morphological picture of granulomatous periodontitis is characterized by bone tissue destruction. This article examines cases of granulomatous periodontitis with tooth loss in patients who have had COVID-19 to establish a potential connection between the two.

**Materials and methods.** This article analyzes 8 clinical cases of granulomatous periodontitis in patients who underwent Covid-19. The diagnosis was made based on an examination performed on a Planmeca 3D Plus tomography machine. The patients voluntarily signed informed consent to treatment and publication of personal medical information.

**Aim.** To analyze cases of granulomatous periodontitis with tooth loss in COVID-19-treated patients and to establish a potential association between tooth loss due to granulomatous periodontitis and COVID-19.

**Results.** All eight cases in this report had very similar and characteristic clinical features: young age of the patients, unburdened general medical history, rapid and nearly asymptomatic development of granulomatous periodontitis after a past coronavirus infection, leading to tooth extraction.

**Conclusion.** Analysis of clinical cases suggests a possible correlation between the onset of granulomatous periodontitis and a history of COVID-19. However, further large-scale studies are needed to clarify the potential link between periodontal diseases and COVID-19.

**Keywords:** COVID-19, SARS-CoV-2; coronavirus, granulomatous periodontitis, tooth loss.

**Аннотация.** Вирус SARS-CoV-2 отличается способностью поражать различные органы как через прямое инфицирование, так и посредством иммунного ответа организма. Отсутствие гигиены полости рта, оппортунистические инфекции, стресс, иммуносупрессия, васкулит и гипертрофическая реакция являются предрасполагающими факторами для возникновения поражений полости рта у пациентов с COVID-19. Зачастую после перенесенной коронавирусной инфекции у значительной части внешне здоровых и молодых пациентов развиваются тяжелые осложнения. Одним из них является гранулематозный периодонтит — это хроническое многофакторное воспалительное заболевание, характеризующееся прогрессирующим разрушением опорно-удерживающего аппарата зуба. Активная форма хронических периодонтитов сопровождается образованием грануляций, свищевых ходов, гранулем, возникновением нагноений в околоточных тканях. Морфологическая картина гранулематозного периодонтита характеризуется деструкцией костной ткани. В настоящей статье рассматриваются случаи гранулематозного периодонтита с потерей зубов у пациентов, перенесших COVID-19 с целью установить потенциальную связь между ними.

**Материалы и методы.** В данной статье проанализированы 8 клинических случаев гранулематозного периодонтита у пациентов, перенесших Covid-19. Диагноз выставлялся на основании обследования, проведенного на томографическом аппарате Planmeca 3D Plus. Пациенты добровольно подписали информированное согласие на лечение и публикацию личной медицинской информации.

**Цель.** Проанализировать случаи гранулематозного периодонтита с потерей зубов у пациентов, перенесших COVID-19, и установить потенциальную связь между потерей зубов в результате гранулематозного периодонтита и COVID-19.

**Результаты.** Все восемь случаев в данном отчете имели очень схожие и характерные клинические признаки: молодой возраст пациентов, неотягощенный общий анамнез, быстрое и практически бессимптомное развитие гранулематозного периодонтита после перенесенной коронавирусной инфекции, повлекшее за собой удаление зубов.

**Заключение.** Анализ клинических случаев свидетельствует о возможной корреляции между возникновением гранулематозного периодонтита и перенесенным COVID-19. Тем не менее, для дальнейшего выяснения потенциальной связи между заболеваниями периодонта и COVID-19 необходимы дальнейшие крупномасштабные исследования.

**Ключевые слова:** COVID-19, SARS-CoV-2, коронавирус, гранулематозный периодонтит, выпадение зубов.

## Введение

В конце 2019 года в Ухане (Китай) был обнаружен новый вирус из семейства коронавирусов, получивший название Sars-Cov-2 и вызывающий тяжелый острый респираторный синдром (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2). Его распространение происходит путем прямой диффузии, например: кашель, чихание, вдыхание капель, а также передача при контакте с носовой полостью [6]. Вирус SARS-CoV-2 отличается способностью поражать различные органы как через прямое инфицирование, так и посредством иммунного ответа организма.

Несмотря на то, что большинство пациентов с COVID-19 выздоравливают без серьезных осложнений, у некоторых из них наблюдаются тяжелые осложнения, включая множественную органную недостаточность и смерть. Причиной таких осложнений являются серьезные заболевания, вызванные инфекцией, такие как острый респираторный дистресс, системные воспалительные реакции и коагулопатии [10]. Одним из частых осложнений является развитие вирусной пневмонии. Коронавирус способен поражать и слизистую оболочку рта. Патогенный агент проникает в организм благодаря ангиотензин-превращающему ферменту 2 (АПФ2), который локализуется как на поверхности альвеол и легочных структур, так и на эпителиальных клетках полости рта, где начинает активно размножаться [2]. Поражения слизистой оболочки рта встречаются примерно у 20,5 % пациентов с COVID-19.

Установлено, что отсутствие гигиены полости рта, оппортунистические инфекции, стресс, иммуносупрессия, васкулит и гипервоспалительная реакция являются предрасполагающими факторами для возникновения поражений полости рта у пациентов с COVID-19 [10].

Наиболее распространенными патологиями являются афтозные и герпесные поражения, болезнь Кавасаки, бляшки, грибковые инфекции (кандидоз и мукормикоз), петехии слизистых оболочек, гингивит и кровоточивость десен [8,9]. В исследовании 2022 случай-контроль среди пациентов с COVID-19 в США сообщалось о значительном увеличении количества отсутствующих зубов и потери альвеолярного отростка у пациентов с положительным результатом Covid-19 и у пациентов с тяжелыми осложнениями [12]. Зачастую после перенесенной короновирусной инфекции у значительной части внешне здоровых и молодых пациентов, не имеющих четких идентифицируемых факторов риска, все же развиваются тяжелые осложнения. Одним из них является периодонтит — это хроническое многофакторное воспалительное заболевание, характеризующееся прогрессирующим разрушением опорно-удерживающего аппарата зуба. При отсутствии должного лечения

периодонтит приводит к разрушению костной ткани, окружающей зубы, и в итоге к потере самих зубов [10]. Активная форма хронических периодонтитов сопровождается образованием грануляций, свищевых ходов, гранулем, возникновением нагноений в околочелюстных тканях. Морфологическая картина гранулематозного периодонтита характеризуется деструкцией костной ткани. Под термином «деструкция» понимают разрушение костной ткани и замещение ее другой (патологической) тканью (грануляциями, гноем, опухолевидной). Лечебные мероприятия должны быть направлены на устранение инфекционного очага, снижение инфекционно-токсического, аллергического и аутоиммунного воздействия на организм, предотвращение распространения инфекции [13].

В настоящей статье рассматриваются случаи гранулематозного периодонтита с потерей зубов у пациентов, перенесших COVID-19 с целью установить потенциальную связь между ними.

## Материалы и методы

Проанализированы 8 клинических случаев гранулематозного периодонтита у пациентов, перенесших Covid-19. Диагноз «гранулематозный периодонтит» выставлялся на основании обследования, проведенного на томографическом аппарате Planmeca 3D Plus. Пациенты добровольно подписали информированное согласие на лечение и публикацию личной медицинской информации.

Результаты. Все восемь случаев в данном отчете имели очень схожие и характерные клинические признаки: молодой возраст пациентов, неотягощенный общий анамнез, быстрое и практически бессимптомное развитие гранулематозного периодонтита после перенесенной короновирусной инфекции, повлекшее за собой удаление зубов.

## Клинические случаи

### Случай 1

Женщина 34 года, обратилась с жалобами на тяжесть и болевые ощущения в зубе 4.6, температура 37,5. Пациентка перенесла Covid-19 за 6 месяцев до обращения в стоматологическую клинику. При осмотре: конфигурация лица не изменена, слизистая оболочка полости рта бледно-розового цвета, гиперемия в области зуба 4.6. На основании данных клинического осмотра и КТ исследования был поставлен диагноз: гранулематозный периодонтит (рис.1 А, В). В ходе лечения был удален зуб 4.6, был установлен имплантат и проведена костная пластика.

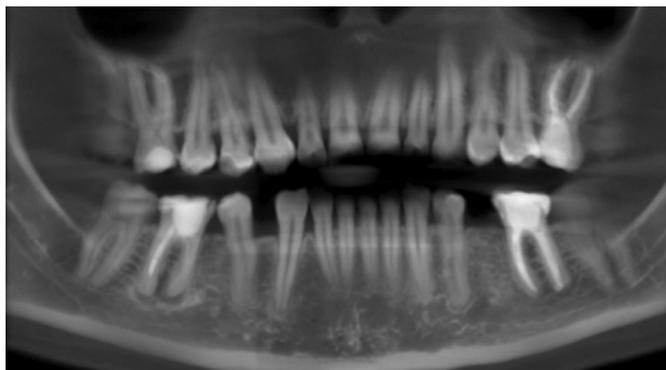


Рис. 1А. Фронтальная панорама. Гранулематозный периодонтит зуба 4.6 с последующим удалением и протезированием.



Рис. 1В. Срез КТ в области зуба 4.6. Визуализируется очаг деструкции в области бифуркации и под корнями зуба размером 6,37 x 4,40 мм. Корневые каналы запломбированы не полностью.

#### Случай 2

Мужчина — 35 лет обратился с жалобами на чувство тяжести, пульсирующие боли в зубе 3.6, подъем температуры тела. Пациент перенес короновиральную инфекцию за 3 месяца до обращения за стоматологической помощью. При осмотре: конфигурация лица не изменена, слизистая оболочка полости рта бледно-розового цвета, гиперемия в области зуба 3.6. Металлокерамическая коронка на зубе 3.6. На основании осмотра и КТ исследования пациенту был поставлен диагноз: гранулематозный периодонтит (рис. 2 А, В). В ходе лечения был удален зуб 3.6, был установлен имплантат.

#### Случай 3

Мужчина — 40 лет обратился с ноющими и пульсирующими болями в области зубов 2.4, 2.7, повышением температуры последние два дня. Гигиена затруднена. Пациент перенес короновиральную инфекцию за 4 месяца до обращения за стоматологической помощью. При осмотре: конфигурация лица не изменена, слизистая оболочка полости рта в области I сегмента верхней и нижней челюсти бледно-розового цвета, гиперемия

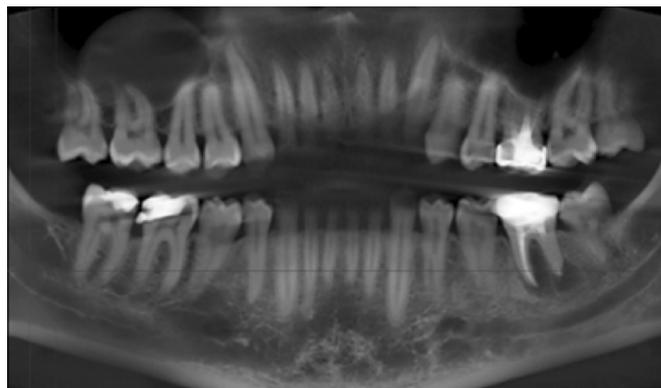


Рис. 2А. Фронтальная панорама. Поражения зуба 3.6

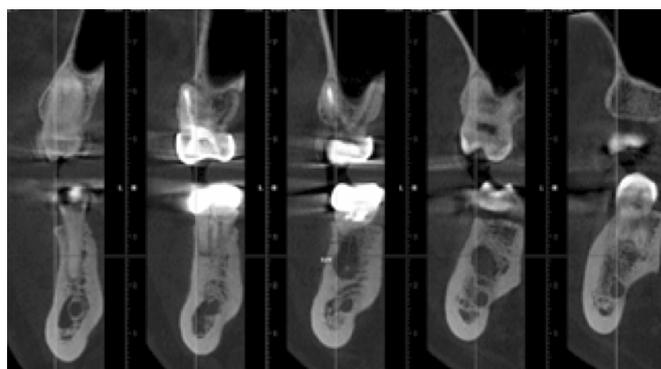


Рис. 2В. Срез КТ в области зуба 4.6. Визуализируется очаг деструкции в области бифуркации и под корнями зуба размером 8,88 x 5,06 мм.

Периодонтальная щель расширена. Корневые каналы запломбированы до верхушки корней

о области зубов 2.3, 2.4, 2.5 и 2.6. Визуализируется свищевой ход с вестибулярной стороны в области зуба 2.5. На основании клинического осмотра и КТ исследования пациенту был поставлен диагноз: гранулематозный периодонтит в области зубов 1.5, 1.7, 2.5 и 2.7 (рис.3 А, В, С, D, E)

Лечение. Была проведена экстракция зуба 2.5 с удалением кисты и костная пластика. Последующая установка имплантата через 6 месяцев. Удаление зубов 1.5 и 1.7 также с последующей установкой имплантатов (рис.3F)

#### Случай 4

Женщина 32 лет, обратилась с жалобами на боль при надкусывании в области зуба 1.6. Пациентка перенесла Covid-19 за 6 месяцев до обращения в стоматологическую клинику. При визуальном осмотре: конфигурация лица не изменена, слизистая оболочка полости рта бледно-розового цвета, гиперемия в области зуба 1.6. На основании данных клинического осмотра и КТ исследования был поставлен диагноз: гранулематозный периодонтит в области зуба 1.6 (рис. 4). Было проведено терапевтическое лечение под микроскопом, но в связи

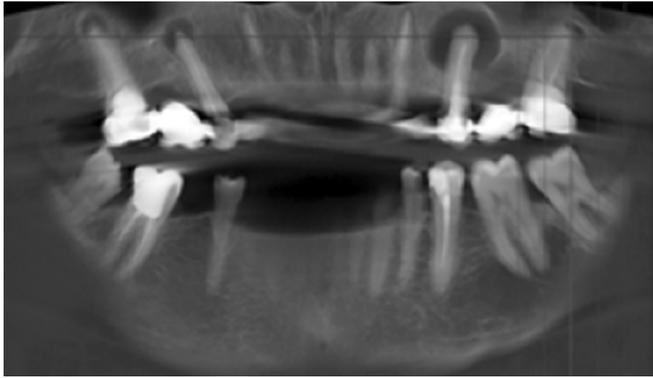


Рис. 3А. — Фронтальная панорама. Поражения зубов 1.7, 1.5, 2.5, 2.7

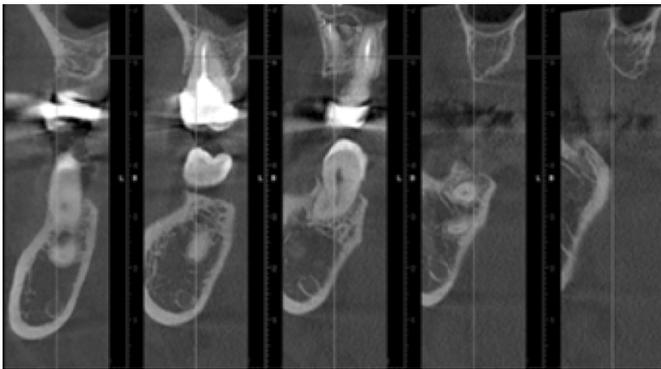


Рис. 3В. Срез КТ в области зуба 2.7. Визуализируется очаг деструкции 7,10 мм. Периодонтальная щель расширена. Корневые каналы запломбированы до верхушки корней

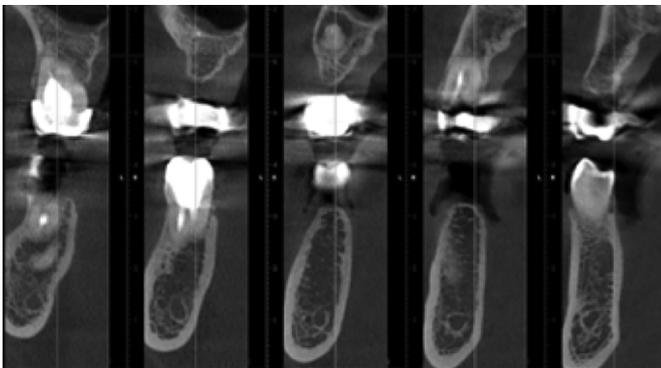


Рис. 3С. Срез КТ в области зуба 1.5. Визуализируется очаг деструкции 5,40 мм. Периодонтальная щель расширена. Корневые каналы запломбированы до верхушки корней

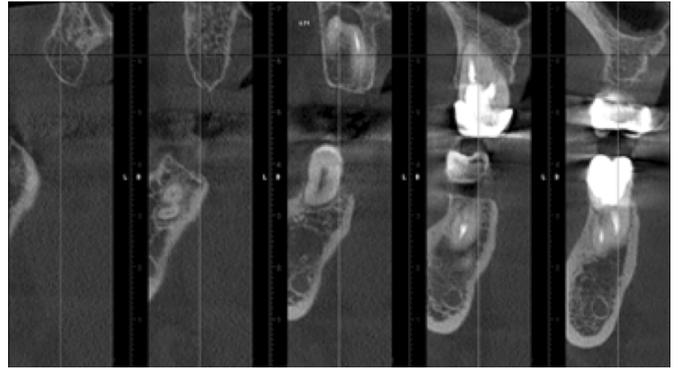


Рис. 3Д. Срез КТ в области зуба 1.7. Визуализируется очаг деструкции 6,91 мм. Периодонтальная щель расширена. Корневые каналы запломбированы до верхушки корней

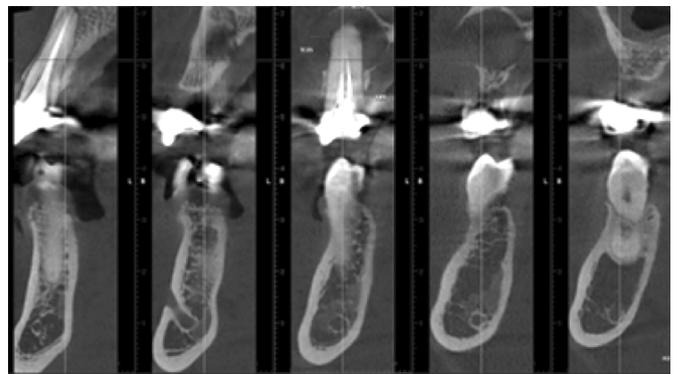


Рис. 3Е. Срез КТ в области зуба 2.5. Визуализируется очаг деструкции 15,20 мм. Периодонтальная щель расширена. Корневые каналы запломбированы до верхушки корней. Металлический штифт. Непроходный корневой канал 3,7–4мм. Отсутствие альвеолярного отростка с вестибулярной стороны на 10,85 мм и небной кости на 3,80 мм



Рис. 3Ф. Экстракция зубов 2.5, 1.5 и 1.7 с последующей имплантацией. Результат после лечения

с непроходимостью каналов и острым воспалительным процессом под корнем, было принято решение об удалении зуба с последующей установкой имплантата.

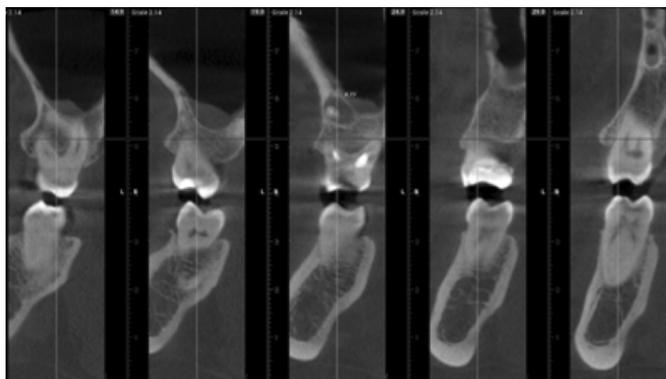


Рис. 4. Срез КТ в области зуба 1.6. Визуализируется гранулема в небном канале 6,72 mm

#### Случай 5

Мужчина — 36 лет обратился с жалобами на легкую боль при надкусывании. Пациент перенес короновиральную инфекцию за 3 месяца до обращения в клинику. При осмотре: конфигурация лица не изменена, слизистая оболочка полости рта бледно-розового цвета, гиперемия и выделения гнойного экссудата в области зуба 4.6. На основании клинического осмотра и КТ исследования пациенту был поставлен диагноз: гранулематозный периодонтит в области зуба, воспалительный процесс под корнями и в зоне бифуркации (рис. 5 А, В). Было проведено удаление зуба 4.6 с последующей установкой имплантата.

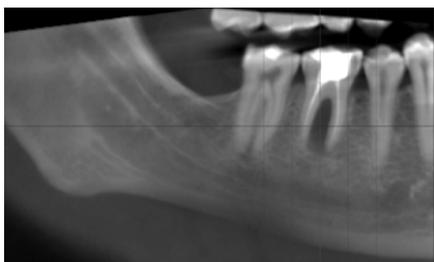


Рис. 5А. Сагиттальный срез КТ в области зуба 4.6

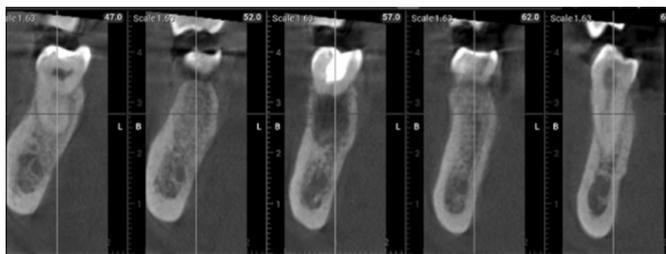


Рис. 5В. Срез КТ в области зуба 4.6. Визуализируется очаг деструкции в области бифуркации и под корнями зуба размером 8,81 x 6,40 мм.  
Периодонтальная щель расширена

#### Случай 6

Мужчина — 39 лет обратился с жалобами на легкую боль при надкусывании. Пациент перенес короновиральную инфекцию за 5 месяцев до обращения в клинику. При осмотре: конфигурация лица не изменена, слизистая оболочка полости рта бледно-розового цвета, гиперемия в области зуба 2.4. На основании клинического осмотра и КТ исследования пациенту был поставлен диагноз: гранулематозный периодонтит в области зуба 2.4, хронический периодонтит в зубе 2.5 (рис 6 А, В). Было проведено удаление зуба 2.4 с последующей установкой имплантата (рис. 6 С) и терапевтическое лечение зуба 2.5 с протезированием циркониевой короной.

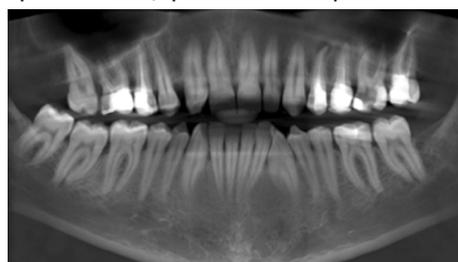


Рис. 6А. Фронтальная панорама поражения зуба



Рис. 6В. Срез КТ в области зуба 2.4. Визуализируется гранулема 4,47 x 2,84 mm



Рис. 6С. Фронтальная панорама. Результат после лечения

#### Случай 7

Женщина — 35 лет обратилась с жалобами на боль при надкусывании, ноющие и пульсирующие боли, температуру. Пациентка перенесла короновиральную инфекцию

цию за 5 месяцев до обращения в клинику. При осмотре: конфигурация лица не изменена, слизистая оболочка полости рта бледно-розового цвета, гиперемия и выделения гнойного экссудата в области зуба 1.2. На основании клинического осмотра и КТ исследования пациентке был поставлен диагноз: гранулематозный периодонтит в области зуба 1.2. (рис. 7 А, В). В стоматологическом анамнезе апикэктомия зуба 1.2. В ходе лечения была удалена гранулема, ткани восстановлены костным материалом. Зуб был сохранен.

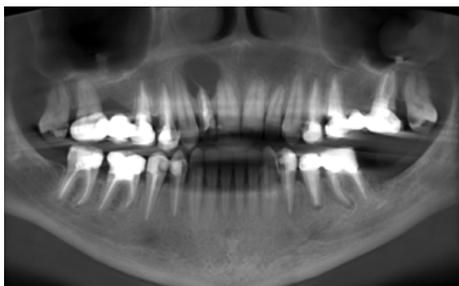


Рис. 7А. Фронтальная панорама. Поражение зуба 1.2



Рис. 7В. Трехмерная реконструкция КТ с визуализацией пораженного зуба

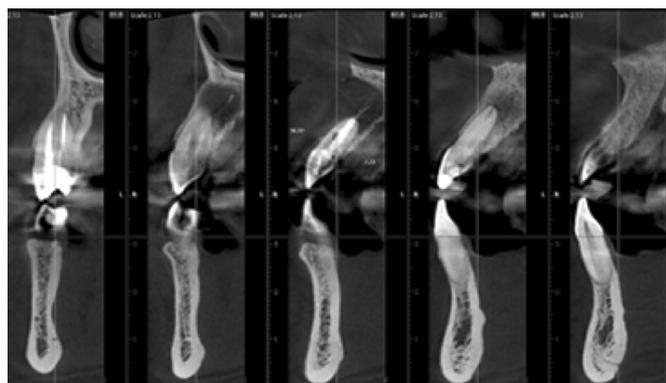


Рис. 7С. Срез КТ в области зуба 1.2. Полное отсутствие альвеолярной стенки, альвеолярного отростка с вестибулярной стороны.  
Гранулема размером 10,32 x 7,72

### Случай 8

Женщина 36 лет, обратилась с жалобами на боль в области зуба 4.6, температуру в течение двух дней. Пациентка перенесла Covid-19 за несколько месяцев до обращения в стоматологическую клинику. При визуальном осмотре: конфигурация лица не изменена, слизистая оболочка полости рта бледно-розового цвета, гиперемия в области зуба 4.6. Виден свищевой ход, выделения гнойного экссудата в области зуба 4.6. На основании КТ исследования был поставлен диагноз: гранулематозный периодонтит в области зуба 4.6 (рис. 8 А). Проведено удаление зуба 4.6 с последующей установкой имплантата (рис. 8 В).

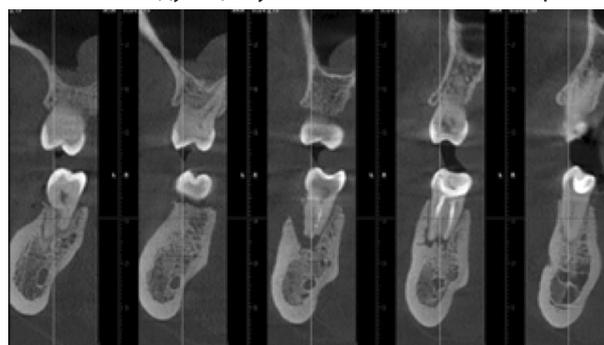


Рис. 8А. Срез КТ в области зуба 4.6. Визуализируется гранулема под корнями 8,75 мм. Альвеолярный отросток с вестибулярной стороны открыт, костная ткань отсутствует. Корневые каналы запломбированы не полностью



Рис. 8В. Фронтальная панорама. Результат после лечения

### Заключение

Анализ клинических случаев свидетельствует о возможной корреляции между возникновением гранулематозного периодонтита и перенесенным COVID-19. Тем не менее, для дальнейшего выяснения потенциальной связи между заболеваниями периодонта и COVID-19 необходимы дальнейшие крупномасштабные исследования.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Campus G., Diaz Betancourt M., Cagett, M.G., Giacaman R.A., Manton D.J., Douglas G., Carvalho T.S., Carvalho J.C., Vukovic A., Cortés-Martincorena F.J., et al. The COVID-19 pandemic and its global effects on dental practice. An international survey. *J. Dent.* 2021, 114, 103749 DOI: 10.1016/j.jdent.2021.103749
2. COVID-19 И СТОМАТОЛОГИЯ Григорьев С.С., Акмалова Г.М., Епишова А.А., Чернышева Н.Д., Гимранова И.А., Азнагулов А.А. Современные проблемы науки и образования. 2023. № 1. С. 92. DOI: 10.17513/spno.32445
3. Farshidfar N., Jafarpour D., Hamedani S., Dziedzic A., Tanasiewicz M. Proposal for Tier-Based Resumption of Dental Practice Determined by COVID-19 Rate, Testing and COVID-19 Vaccination: A Narrative Perspective. *J. Clin. Med.* 2021, 10, 2116. DOI:10.3390/jcm10102116
4. Haura Syafin, Muhammad Ramaditto Reksoprodjo, Vera Julia, Maudina Dwi Heriasti, Dwi Ariawan, Lilies Dwi Sulistyani, Yudy Ardilla Utomo, Muhammad, Farid Ratman Comparison of distribution and frequency of impacted teeth before and during COVID-19 pandemic in dental hospital: a descriptive study, *Padjadjaran Journal Volume 35, Number 3, November 2023, 225-229* DOI:10.24198/pjd.vol35no3.50127
5. Johnson R.E., Foy T.E., Ellingsen T.A., Nelson J.L., Dillon J.K. Odontogenic Infections: Disease Burden During COVID-19 at a Single Institution. *J Oral Maxillofac Surg.* 2021; 79(4): 830–5. DOI: 10.1016/j.joms.2020.10.015
6. Pacheco D, Peres G, Vargas S, Siquiera A, Rodrigues V, et al. Impactos da COVID-19 na Odontologia. *Rev Odontol Contemp.* 2020; 4(2sup2): 1–7. DOI: 10.31991/v4n2sup22020rocjofpmcovid
7. Salgarello S., Salvadori M., Mazzoleni F., Francinelli J., Bertoletti P., Audino E., Garo M.L. The New Normalcy in Dentistry after the COVID-19 Pandemic: An Italian Cross-Sectional Survey. *Dent. J.* 2021, 9, 86. DOI:10.3390/dj9080086
8. ВЛИЯНИЕ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ НА СОСТОЯНИЕ ПОЛОСТИ РТА Тиньгаева Ю.И., Гогицаева А.А., Ремизова А.А. Вестник Дагестанской государственной медицинской академии. 2022. № 1 (42). С. 61–66. eLIBRARY ID: 48403632
9. ПРОЯВЛЕНИЯ COVID-19 В ПОЛОСТИ РТА Грицева П.С., Михайлюк Е.С., Теплова А.В. В сборнике: Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности. сборник материалов XII Международной научно-практической конференции. Москва, 2022. С. 272–277. DOI: 10.23670/IRJ.2023.134.29
10. Sadeq Ali Al-Maweri, Mohammed Nasser Alhaji, Esam Halboub, Faleh Tamimi, Nosizana Mohd Salleh, Mohammed Sultan Al-Ak'hali, Saba Kassim, Saleem Abdulrab, Lamyia Anweigi and Marwan Mansoor Ali Mohammed. The impact of periodontal disease on the clinical outcomes of COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health* (2023) 23:658 DOI:10.1186/s12903-023-03378-0
11. Al-Maweri S.A., Halboub E., Warnakulasuriya S. Impact of COVID-19 on the early detection of oral cancer: A special emphasis on high-risk populations. *Oral Oncol.* 2020;106: 104760. DOI:10.1016/j.oraloncology.2020.104760
12. Wadhwa S., Dave S., Daily M.L., Nardone A., Li R., Rosario J., Cantos A., Shah J., Lu H.H., McMahon D.J., et al. The role of oral health in the acquisition and severity of SARS-CoV-2: a retrospective chart review. *Saudi Dent J.* 2022;34(7):596–603
13. Саблина Г.И., Ковтонюк П.А., Соболева Н.Н., Зеленина Т.Г., Татарнинова Е.Н. Систематика хронических периодонтитов и их место в мкб-10. *Сибирский медицинский журнал*, 2011, № 6. УДК 616.314.17-036.12

---

© Мелкумян Гор Акопович (melkumyan.gor@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КРИТЕРИИ ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПРОЛАПСА ТАЗОВЫХ ОРГАНОВ

## CRITERIA FOR JUSTIFYING THE USE OF SYNTHETIC MATERIALS IN THE SURGICAL TREATMENT OF PELVIC ORGAN PROLAPSE

*E. Mirovich*

*Summary.* A retrospective analysis was carried out to study the risk factors for recurrence of genital prolapse, as well as to determine the criteria for forming a risk group to justify the use of neofasciogenesis methods in surgical treatment.

The study was conducted based on studying the long-term results of surgical treatment of pelvic organ prolapse in 451 patients in a period of 2 to 4 years after surgical correction without the use of synthetic materials. The study was conducted based on a detailed database collected before surgical treatment and taking into account the age of women, their life history, the presence of concomitant somatic pathology, the degree of genital prolapses, family and obstetric-gynecological history, the presence of manifestations of connective tissue dysplasia, and anthropometric data. Based on the identified risk factors for recurrent prolapse, criteria for justifying the use of synthetic materials in this group of patients have been developed.

*Keywords:* pelvic organ prolapse, risk factors for relapse.

**Мирович Екатерина Евгеньевна**

Кандидат медицинских наук, ассистент,  
Донецкий государственный медицинский университет  
имени М. Горького  
mirovich.k@gmail.com

*Аннотация.* Проведен ретроспективный анализ с целью изучения факторов риска рецидивов генитального пролапса, а также определения критериев формирования группы риска для обоснования применения у них методов неофасциогенеза при хирургическом лечении.

Исследование проводилось на основании изучения отдаленных результатов хирургического лечения пролапса тазовых органов у 451 пациентки в сроках от 2 до 4 лет после хирургической коррекции без применения синтетических материалов.

Исследование проведено на основании подробной базы данных, собранной до оперативного лечения и учитывающей возраст женщин, анамнез их жизни, наличие сопутствующей соматической патологии, степень генитального пролапса, семейный и акушерско-гинекологический анамнез, наличие проявлений дисплазии соединительной ткани, данные антропометрии. На основании выявленных факторов риска рецидивов пролапса разработаны критерии обоснования применения синтетических материалов у данного контингента пациенток.

*Ключевые слова:* пролапс тазовых органов, факторы риска рецидивов.

Причиной генитального пролапса является повышение внутрибрюшного давления над способностью мышечного комплекса и лигаментарно-фасциальных структур, ответственных за удержание тазовых органов, оказывать ему противодействие. Данное обстоятельство может быть вызвано значительным повышенным внутрибрюшным давлением, обусловленным образом жизни или какими-либо патологическими состояниями (асцит, хронические обструктивные заболевания легких и др.) [1], что встречается относительно редко. Значительно чаще развитие заболевания определяется несостоятельностью лигаментарно-фасциальных структур, связанной с их травматическим повреждением, дистрофическими нарушениями или проявлениями системной дисплазии соединительной ткани [2].

Хирургический метод является основным в лечении пролапса тазовых органов. Существует множество вариантов коррекции влагалищной анатомии, большинство из которых представляют скорее исторический интерес. Условно их можно разделить на три группы:

окклюзивные методы, технологии, основанные на восстановлении анатомических взаимоотношений тазовых органов за счет собственных тканей, и с использованием синтетических материалов. Окклюзивные методы, являясь не физиологичными, но обладающими наименьшими операционными рисками, используются преимущественно в старческом возрасте или при наличии тяжелой соматической патологии. Наиболее часто применяются методы, основанные на использовании собственных тканей. Основной проблемой этих методов является большое количество рецидивов, достигающее 45 % случаев [3, 4]. Это обусловлено тем, что их применение, восстанавливая нормальную влагалищную анатомию, не приводит к устранению причин, приведших к заболеванию. Технологии, основанные на дублировании собственных несостоятельных соединительнотканых структур синтетическими материалами, в основном решают эту проблему. В то же время они значительно повышают риски интра- и послеоперационных осложнений [5] и ведут к существенному удорожанию лечения, в связи с чем их применение должно быть строго обо-

сновано. Учитывая это обстоятельство, знание маркеров несостоятельности собственных соединительнотканых структур и критериев формирования группы риска возникновения рецидивов является крайне важным для адекватного выбора метода хирургического лечения заболевания.

Целью исследования было определение факторов риска рецидивов и критериев формирования группы риска для обоснования применения синтетических материалов в хирургическом лечении пролапса тазовых органов.

### Материал и методы

Исследование было проведено в два этапа. На первом этапе определялись факторы риска рецидивов пролапса, свидетельствующие о несостоятельности собственных соединительнотканых структур, используемых для апикальной фиксации или фасциальной реконструкции. На втором этапе были разработаны критерии формирования группы риска для обоснования применения синтетических материалов при выборе метода хирургического лечения и дана оценка их эффективности.

В гинекологическом отделении Центральной городской клинической больницы №6 г. Донецка за период с 2006 по 2016 гг. хирургическое лечение пролапса тазовых органов было выполнено у 773 пациенток. Оценка его результатов была проведена на основании контрольного осмотра 451 (58,3 % от общего количества) женщины в сроках от 2 до 4 лет после операции. При этом в рамках других, проводимых в клинике научно-исследовательских работ была накоплена подробная база данных, касающаяся клинико-anamnestических характеристик, течения заболевания и причин его возникновения у данных пациенток до их оперативного лечения. Ее наличие позволило провести ретроспективный многофакторный анализ зависимости частоты рецидивов заболевания от наличия факторов риска его развития.

Из общего количества повторно осмотренных женщин у 165 (36,6 %) были использованы различные варианты технологий с применением синтетических материалов. У 286 (63,4 %) пациенток, составивших группу исследования, хирургическая коррекция проводилась за счет собственных тканей. Оперативное лечение заключалось в следующем. У всех пациенток были использованы различные методы апикальной фиксации, а именно: экстирпация матки через влагалище — 182 (63,6 %), сакроспинальная кольпофиксация — 32 (11,2 %), вентрофиксация — 10 (3,5 %), ампутация шейки матки с транспозицией влагалищных сводов и кардинальных связок — 62 (21,7 %). Кроме того, всем женщинам с целью укрепления активной поддержки тазовых органов была выполнена задняя кольпорафия с плика-

цией леваторов. У 232 (81,1 %) — отмечались дефекты пубоцервикальной фасции, в связи с чем им была произведена передняя кольпорафия с фасциальной реконструкцией.

Оценка результатов хирургического лечения проводилась на основании исследования вагинального профиля, проведенного в соответствии с количественной классификацией POP-Q. К понятию «рецидив заболевания» были отнесены случаи диагностики нарушений влагалищной анатомии, соответствующие II и более стадии генитального пролапса.

С целью определения зависимости частоты развития рецидивов от наличия факторов риска заболевания, с использованием накопленной до оперативного лечения базы данных, были проанализированы следующие показатели: возраст женщин, анамнез жизни, наличие сопутствующей соматической патологии, степень генитального пролапса, семейный и акушерско-гинекологический анамнез, наличие проявлений дисплазии соединительной ткани, данные антропометрии.

В проанализированной базе данных на основании анамнеза жизни были учтены условия труда и быта, наличие соматических заболеваний, таких как хронические заболевания дыхательной системы, синдрома раздраженного кишечника, различные нозологические формы органоспецифических проявлений наследственной коллагенопатии. Среди данной группы заболеваний учитывалось наличие грыж различной локализации в анамнезе, нетравматических привычных вывихов и дисплазии тазобедренных суставов, спланхноптоза, соединительнотканых дисплазий сердца, миопии, дискинезии желчных протоков, геморроя.

При изучении семейного анамнеза учитывались наличие пролапса тазовых органов у родственников первой линии.

На основании данных акушерско-гинекологического анамнеза учитывались: количество беременностей, родов, возраст, в котором произошли первые и последние роды, интервал между родами, масса плодов, произведенные акушерские операции, наличие родовых травм, гинекологические заболевания, хирургические вмешательства на органах малого таза, возраст наступления менопаузы и время, прошедшее после ее наступления.

Из анамнеза заболевания выяснялась его продолжительность и возраст появления первых признаков генитального пролапса.

На основании данных общего осмотра, проведенного по системам, учитывались внешние проявления наследственной коллагенопатии [6]. Оценивалось наличие

гиперэластичности кожи (величина кожной складки над наружными концами ключиц не менее 3 см). Определялись: мышечный тонус, наличие диастаза парных мышц, грыж различной локализации, деформаций грудной клетки, плоскостопия (подометрический метод Фринд-лянда), выраженности физиологических изгибов грудного и поясничного отделов позвоночника, гиперлабильности суставов с помощью метода Бейтона, варикозного расширения вен.

Понятие «системная дисплазия соединительной ткани» использовалось при наличии у пациенток четырех и более ее внешних или висцеральных маркеров [7].

Помимо этого, у данных больных было проведено измерение ряда антропометрических показателей: рост, вес, окружность талии, окружность бедер. Индекс массы тела (ИМТ) рассчитывался как отношение значения веса к квадрату значения роста в метрах. При величине ИМТ менее «22» масса тела оценивалась как недостаточная, при значениях свыше «26» — как избыточная. Также рассчитывалось соотношение значений объема талии к объему бедер (ОТ/ОБ). Значение показателя ОТ/ОБ свыше 0,85 расценивалось, как проявление абдоминального ожирения [8].

При определении зависимости частоты рецидивов заболевания от наличия факторов риска его развития применяли классические методы вариационной статистики [9]. При сравнении долей, выраженных в процентах (P), рассчитывали ошибку репрезентативности ( $\pm m$ ). Оценку статистической значимости различий долей проводили с помощью критерия Стьюдента. Нулевую гипотезу о равенстве отвергали и различия между сравниваемыми долями считали значимыми при  $p < 0,05$ .

На втором этапе исследования была разработана система бальной оценки значимости установленных факторов риска и определения критериев формирования группы риска. Для ее разработки и оценки эффективности использовался набор показателей, применяемый в научно-доказательной медицине и определяющий методическое качество исследования [10]: абсолютный риск (AP) — отношение числа больных, у которых возник определенный клинический исход или признак в группе лечения или контроля к общему числу больных в соответствующей группе, относительный риск (OR) — отношение частоты изучаемого исхода среди лиц, имеющих и не имеющих определенный признак ( $OR = AP$  в основной группе /  $AP$  в группе контроля), специфичность — вероятность отрицательного результата диагностического теста в отсутствие болезни, чувствительность — вероятность положительного результата диагностического теста при наличии болезни, прогностическая ценность отрицательного результата теста — вероятность отсутствия заболевания при отрицательном результате теста,

прогностическая ценность положительного результата теста — вероятность заболевания при положительном результате теста.

### Результаты и их обсуждение

В результате исследования вагинального профиля было установлено наличие рецидивов у 108 женщин (37,8 %). Рецидивный пролапс II степени имел место в 39 (36,1 %) случаях, III степени — в 69 (63,9 %). Изолированные дефекты влагалищной анатомии были отмечены у 48 (44,4 %) пациенток, при этом нарушения переднего сегмента имели место в 27 случаях, заднего — в 21. У 60 (55,6 %) женщин имели место комбинированные дефекты вагинальной анатомии: сочетание апикального, переднего и заднего — 27, апикального и заднего — 3, апикального и переднего — 9, переднего и заднего — 21. Исходя из этого, наиболее часто встречались рецидивы, связанные с несостоятельностью пубоцервикальной фасции, а именно в 84 случаях (77,8 %).

Определение значимости факторов риска возникновения генитального пролапса в развитии его рецидивов показало следующее. После оперативного лечения на тяжелые условия труда или быта не указывала ни одна из женщин. Различия в частоте хронических заболеваний легких и синдрома раздраженного кишечника у пациенток с рецидивами и без них были статистически не значимы. Следовательно значение общепризнанных факторов, свидетельствующих о повышении внутрибрюшного давления, в развитии рецидивов среди обследованных пациенток установлено не было.

Данные о частоте рецидивов генитального пролапса в зависимости от акушерских факторов риска возникновения заболевания представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы, акушерские факторы риска развития генитального пролапса, косвенно свидетельствующие о травматическом характере повреждения фасциально-лигаментарных тазовых структур, не оказывали влияние на частоту рецидивов после его хирургического лечения. Вероятней всего это связано с тем, что данные дефекты устранялись в ходе выполнения хирургических процедур.

Анализ частоты возникновения рецидивов в зависимости от вида хирургических методов лечения также свидетельствовал об отсутствии статистически значимых различий. Так, при использовании радикального хирургического лечения у 182 женщин было отмечено 66 рецидивов (36,3+3,6 %), при органосохраняющих методах у 104 пациенток — 42 (40,4+4,8) ( $P > 0,05$ ).

Оценка результатов хирургического лечения постгистерэктомического пролапса с использованием соб-

Таблица 1.

Частота рецидивов генитального пролапса в зависимости от акушерских факторов риска заболевания

Фактор риска	Кол-во женщин с наличием фактора	Частота рецидивов	Кол-во женщин без фактора	Частота рецидивов	P
Больше 2-х родов	44	16 (36,4+7,3 %)	242	92 (38,0+3,1 %)	>0,05
Первые роды в возрасте старше 30 лет	36	12 (33,3+7,9 %)	250	96 (38,4+3,1 %)	>0,05
Интервал между родами больше 10 лет	48	18 (37,7+7,0 %)	238	90 (37,8+3,1 %)	>0,05
Вес плода более 4000	33	13 (39,4+8,5 %)	253	95 (37,5+3,0 %)	>0,05
Родовая травма	56	24 (42,9+6,6 %)	230	84 (36,5+3,2 %)	>0,05

ственных тканей показала, что из 28 пациенток рецидивы были отмечены у 26 из них (92,9+4,9 %). У остальных 258 пациенток рецидив заболевания имел место в 82 случаях (31,8+2,9 %) (P <0,05). Полученный результат свидетельствует о сложностях восстановления интегрального взаимоотношения фасциально-лигаментарных структур, входящих в состав перицервикального кольца, в связи с их частичной утратой во время проведения предшествующей гистерэктомии и необходимости поиска новых точек фиксации.

При анализе частоты возникновения рецидивов заболевания в зависимости от факторов риска, свидетельствующих о причинах в какой-либо степени, определяющих несостоятельность соединительной ткани, было установлено следующее.

Средний возраст пациенток, находящихся под наблюдением, составил 53,94+9,7 лет. Из 139 женщин возрастом до 55 лет рецидивы заболевания были отмечены в 31 случае (22,3+3,5 %). У 147 пациенток возрастом старше 55 лет рецидивы имели место в 77 случаях (52,4+4,1 %) (P<0,05). Это же касалось и зависимости частоты рецидивов от нахождения женщин в постменопаузальном периоде жизни. То есть риск возникновения рецидивов в этой категории пациенток возрастал более, чем в два раза. Полученные результаты косвенно подтверждают данные о том, что в связи с дефицитом эстрогенов в мышечных и соединительнотканых структурах влагалища и тазового дна развиваются возрастные атрофические процессы, сопровождающиеся снижением в них содержания коллагена. Кроме того, при недостатке эстрогенов, за счет отсутствия стимуляции выброса эндотелиальными клетками вазоактивных веществ, таких как оксид азота, прогрессируют нарушения кровообращения, которые приводят к гиалинизации коллагеновых и фрагментации эластических волокон [11, 12].

При определении частоты рецидивов в зависимости от степени генитального пролапса было установлено следующее. У 40 пациенток с пролапсом II степени количество рецидивов составило 5 случаев (12,5+5,2 %). При III степени генитального пролапса из 164 женщин рецидивы возникли у 54 (32,9+2,7 %), а при наличии

пролапса IV степени из 54 больных — у 25 (46,3+6,8 %). Во всех случаях различия в частоте были статистически значимыми (P <0,05).

Достоверные различия в частоте возникновения рецидивов генитального пролапса также были определены в зависимости от продолжительности заболевания. Так, из 188 женщин с длительностью заболевания до 10 лет поздние рецидивы были отмечены в 54 случаях (28,7+3,3 %). В то же время у 98 пациенток с длительностью заболевания свыше 10 лет рецидивы имели место также у 54 (55,1+5,0 %) (P <0,05). На факторы риска рецидивов, такие как тяжелые степени пролапса и продолжительность заболевания свыше 10 лет, указывают в своих работах ряд авторов [13, 14]. Вероятней всего это связано с прогрессирующими дистрофическими изменениями тазовых структур, обусловленными длительно существующей гипоксией, вызванной нарушением сосудистой архитектоники.

Частота возникновения рецидивов генитального пролапса также возрастала при наличии таких антропометрических показателей, как избыточная масса тела и наличие абдоминального ожирения. Так, из 95 пациенток с индексом массы тела, превышающим 26, рецидивы имели место в 57 случаях (60,0+5,0 %), у 191 женщины, не имевших избыточной массы тела — в 51 (26,7+3,2 %) (P<0,05). Из 78 больных с наличием абдоминального ожирения (ОТ/ОБ > 0,85) рецидивы возникли в 52 случаях (66,7+5,3 %), у остальных 208 пациенток — в 56 (26,9+3,1 %) (P <0,05). Выявленное нами значение таких факторов, как избыточная масса тела и абдоминальное ожирение противоречит данным Bodner-Adler B., с соавт. (2022) [1], которые не установили их влияния на частоту развития рецидивов пролапса. В то же время в ряде исследований доказано наличие патогенетической взаимосвязи накопления избытка жировой ткани с развитием вялотекущего системного воспалительного ответа и прогрессированием метаболических нарушений, в том числе и в соединительной ткани, что может служить причиной ее несостоятельности [15, 16]. Кроме того, неоспорима роль абдоминального ожирения в возникновении высокого внутрибрюшного давления. Все это может быть объяснено полученными нами данными.

Существенные различия в частоте развития рецидивов генитального пролапса после его хирургического лечения были выявлены в зависимости от наследственной предрасположенности к возникновению самого заболевания и наличия проявлений системной дисплазии соединительной ткани. Так, среди 34 пациенток, имевших родственников первой линии с наличием генитального пролапса, рецидивы возникли у 23 (67,6+8,0%), в то же время из 252 женщин, не имевших наследственной предрасположенности, рецидивы имели место у 85 (33,7+3,0%) ( $P < 0,05$ ). Среди 93 пациенток с наличием четырех и более маркеров системной дисплазии соединительной ткани рецидивы заболевания были выявлены в 62 случаях (66,7+4,9%). В то же время у 193 женщин с отсутствием данных проявлений — в 46 (23,8+3,1%). Роль наследственной предрасположенности и наличия наследственно детерминированной системной дисплазии соединительной ткани в возникновении генитального пролапса давно доказана [17–19]. Естественно, попытка коррекции анатомических нарушений за счет использования собственных несостоятельных соединительнотканых структур также ведет к возрастанию риска рецидивов заболевания.

Таким образом, проведение первого этапа исследования позволило выделить следующие факторы риска возникновения рецидивов после хирургического лечения пролапса тазовых органов: постгистерэктомический пролапс, возраст пациенток старше 55 лет, выраженные степени пролапса, длительность заболевания свыше 10 лет, наличие избыточной массы тела и абдоминального ожирения, генитального пролапса у родственников пер-

вой линии, более четырех внешних или висцеральных маркеров дисплазии соединительной ткани.

Вместе с тем наличие указанных факторов риска в различных сочетаниях имело место у 283 (98,9%) из 286 обследованных пациенток, в том числе у 175 женщин, не имевших рецидивов. Это обстоятельство послужило основанием для проведения второго этапа исследования, а именно определения критериев формирования группы риска, при выборе метода лечения которой целесообразно отдавать предпочтение применению синтетических материалов. С этой целью для каждого фактора риска было определено значение абсолютного (AP) и относительного риска (OP) и разработана бальная оценка их значимости. При этом каждому из них было присвоено количество баллов, соответствующее округленной до 5/10 величине относительного риска развития рецидивов. Бальная оценка факторов риска рецидивов генитального пролапса представлена в таблице 2.

После замены имеющихся факторов риска на баллы был произведен подсчет их количества у пациенток с наличием рецидивов и без таковых. При этом среднее значение суммы баллов у женщин с рецидивами пролапса составило 9,77+0,38, у женщин без рецидивов — 5,01+0,17 ( $P < 0,05$ ).

В качестве нижней пороговой величины суммы баллов факторов риска, позволяющего относить пациенток к группе риска возникновения рецидивов, нами было принято среднее значение суммы баллов у больных

Таблица 2.

Бальная оценка факторов риска

Фактор риска	Кол-во женщин с фактором	Кол-во рецид. /AP	Кол-во женщин без фактора	Кол-во рецид. /AP	OP	Кол-во баллов
Постгистерэктомический пролапс	28	26 (92,9+4,9%) /0,93	258	82 (31,8+2,9%) /0,32	2,91	3
Возраст больных старше 55 лет	147	77 (52,4+4,1%) /0,52	139	31 (22,3+3,5%) /0,22	2,36	2,5
Тяжелые степени генитального пролапса	246	103 (41,9+3,1%) /0,42	40	5 (12,5+5,2%) /0,13	3,23	3
Длительность заболевания свыше 10 лет	98	54 (55,1+5,0%) /0,55	188	54 (28,7+3,3%) /0,29	1,89	2
Наследственная предрасположенность	34	23 (67,6+8,0%) /0,68	252	85 (33,7+3,0%) /0,34	2,0	2
Избыток веса	95	57 (60,0+5,0%) /0,6	191	51 (26,7+3,2%) /0,27	2,22	2
Абдоминальное ожирение	78	52 (66,7+5,3%) /0,67	208	56 (26,9+3,1%) /0,27	2,48	2,5
Системная дисплазия соединительной ткани	93	62 (66,7+4,9%) /0,67	193	46 (23,8+3,1%) /0,24	2,79	3

с рецидивом генитального пролапса минус среднее отклонение для данной выборки, которое составило 3,23. Таким образом, нижнее пороговое значение суммы баллов группы риска составило 6,5 баллов.

Во всей группе исследования, состоящей из 286 пациенток, положительное значение теста (превышение порогового значения суммы баллов) имело место в 115 случаях, в том числе у 86 из 108 женщин с рецидивом пролапса и у 29 из 178 женщин без такового. Из всех находившихся под наблюдением женщин отрицательное значение теста было отмечено у 171 пациентки. Из них отсутствие рецидива генитального пролапса было у 149.

Расчет показателей, определяющих методическое качество исследования, показал следующее:

1. С положительным значением теста было 115 женщин. Из них рецидив генитального пролапса имел место у 86. Следовательно, прогностическая ценность положительного результата теста составила 74,8 %.
2. Из всех находившихся под наблюдением женщин отрицательное значение теста имело место у 171 пациентки. Из них отсутствие рецидива генитального пролапса было у 149. Следовательно, прогностическая ценность отрицательного результата теста составила 87,1 %.
3. Из находившихся под наблюдением 286 пациенток отсутствиерецидивовгенитальногопролапсабыло у 178. Из них пороговое значение суммы баллов факторов риска не было превышено у 149. Следовательно, специфичность метода составила 83,7 %.
4. С рецидивом генитального пролапса было 108 пациенток, из них пороговое значение суммы баллов факторов риска было превышено у 86. Следовательно, чувствительность метода составила 79,6 %.

Таким образом, проведенный расчет данных показателей выявил высокую эффективность разработанного принципа формирования группы риска.

#### Выводы

1. Количество рецидивов после использования методов хирургического лечения пролапса тазовых органов, основанных на их фиксации или устранении фасциальных дефектов с помощью собственных соединительнотканых структур, в периоде наблюдения от 2 до 4 лет достигает 38 %.
2. Факторами риска развития рецидивов являются: постгистерэктомический пролапс, возраст пациенток старше 55 лет, выраженные степени пролапса, длительность заболевания свыше 10 лет, наличие избыточной массы тела и абдоминального ожирения, пролапса у родственников первой линии, более четырех внешних или висцеральных маркеров дисплазии соединительной ткани.
3. Предложенная бальная оценка факторов риска возникновения рецидивов генитального пролапса после его хирургического лечения и определение порогового значения суммы баллов, позволяющего относить пациенток к группе риска, является достаточно информативным прогностическим методом, обладающим высокой специфичностью, чувствительностью и прогностической ценностью положительного и отрицательного результата теста.
4. Использование разработанного принципа формирования группы риска может служить обоснованием для применения синтетических материалов у данного контингента пациенток.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bodner-Adler B., Bodner K., Carlin G., Kimberger O., Marschalek J., Koelbl H., Umek W. Clinical risk factors for recurrence of pelvic organ prolapse after primary native tissue prolapse repair. *Wien Klin Wochenschr.* 2022 Jan;134(1-2):73–75. doi: 10.1007/s00508-021-01861-8. Epub 2021 Apr 30. PMID: 33929606; PMCID: PMC8813732.
2. Минович Е.Д., Митюков В.А., Чурилов А.В., Шемякова М.А. Патогенетические аспекты формирования пролапса тазовых органов у женщин репродуктивного возраста // Вестник неотложной и восстановительной медицины. — 2009. — Том 10. — №2. — с.174–177.
3. Mirovich, E.D. Prevalence and nature of dyspareunia in different age groups of women with pelvic organ prolapse / E.D. Mirovich, E.E. Mirovich, M. A. Egorova [et. al.]. // *Int. J. Res. Med. Sci.* — 2024. — Vol. 6, №1. — P. 10–14.4.
4. Паузина О.А., Аполихина И.А., Романов С.В. и др. Возможные факторы риска развития постоперационного пролапса тазовых органов. Эффективная фармакотерапия. 2023; 19 (7): 28–32. DOI 10.33978/2307-3586-2023-19-7-28-32.
5. Yeung E., Baessler K., Christmann-Schmid C., Haya N., Chen Z., Wallace S.A., Mowat A., Maher C. Transvaginal mesh or grafts or native tissue repair for vaginal prolapse. *Cochrane Database Syst Rev.* 2024 Mar 13;3(3):CD012079. doi: 10.1002/14651858.CD012079.pub2. PMID: 38477494; PMCID: PMC10936147.
6. Рожкова Н.С., Коваленко А.Д. Фенотипические маркеры дисплазии соединительной ткани в деятельности врача общей практики // Бюллетень медицинских Интернет-конференций (ISSN 2224-6150) 2021. Том 11. № 7. — С. 155–157. www.medconfer.com 155 ID: 2021-07-26-A-19528
7. Клеменов А.В. Недифференцированные дисплазии соединительной ткани. — М., 2005. — 136 с.
8. Клинические лекции по гинекологической эндокринологии / И.Б. Манухин, Л.Г. Тумилович, М.А. Геворкян. — М.: Медицинское информационное агентство, 2001. — 247 с.

9. Ланг Т.А., Сесик М. Как описывать статистику в медицине. Аннотированное руководство для авторов, редакторов и рецензентов/ пер. с англ. под ред. В.П. Леонова. — М.: Практическая медицина, 2011. — 480 с.: ил.
10. Петров В.И. Медицина, основанная на доказательствах: учебное пособие / В.И. Петров, С.В. Недогада. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2012. — 144 с. — ISBN 978-5-9704-2321-9.
11. Castelo-Branco C, Cancelo M.J., Villero J., Nohales F., Juliá M.D. Management of post-menopausal vaginal atrophy and atrophic vaginitis. *Maturitas*. 2005 Nov 15;52 Suppl 1: S46–52. doi: 10.1016/j.maturitas.2005.06.014. Epub 2005 Sep 1. PMID: 16139449.
12. Федорова А.И. Диспареуния у женщин в пре- и постменопаузальном периоде. *Гинекология*. 2016; 18 (1): 13–18.
13. Richter H.E., Sridhar A., Nager C.W., Komesu Y.M., Harvie H.S., Zyczynski H.M., Rardin C., Visco A., Mazloomdoost D., Thomas S. Eunice Kennedy Shriver National Institute of Child Health and Human Development Pelvic Floor Disorders Network. Characteristics associated with composite surgical failure over 5 years of women in a randomized trial of sacrospinous hysteropexy with graft vs vaginal hysterectomy with uterosacral ligament suspension. *Am.J. Obstet Gynecol*. 2023 Jan;228(1):63. e1–63. e16. doi: 10.1016/j.ajog.2022.07.048. Epub 2022 Aug 2. PMID: 35931131; PMCID: PMC9790026.
14. Schulten SFM, Claas-Quax M.J., Weemhoff M., van Eijndhoven H.W., van Leijsen S.A., Vergeldt T.F., IntHout J., Kluivers K.B. Risk factors for primary pelvic organ prolapse and prolapse recurrence: an updated systematic review and meta-analysis. *Am J Obstet Gynecol*. 2022 Aug;227(2):192-208. doi: 10.1016/j.ajog.2022.04.046. Epub 2022 Apr 30. PMID: 35500611.
15. Аметов А.С., Пашкова Е.Ю., Рамазанова З.Д., Дарсигова М.Н. Ожирение как неинфекционная эпидемия XXI века. Современные представления о патогенезе, рисках и подходах к фармакотерапии // *Эндокринология: новости, мнения, обучение*. 2019. Т. 8, № 2. С. 57–66. doi: 10.24411/2304–9529-2019-12007.
16. Шпилевская Ю.Р., Штонда М.В. Метаболический синдром: современные аспекты диагностики и лечения // *Медицинские новости*. — 2021. — №5. — с. 4–8.
17. Лукьянова Д.М. Генетические аспекты пролапса гениталий / Д.М. Лукьянова, Т.Ю. Смольнова, Л.В. Адамян // *Акушерство и гинекология*. — 2016. — № 6. — С. 26–31.
18. Ханзадян М.Л. Генетические основы патобиохимических особенностей соединительной ткани больных с пролапсом гениталий / М.Л. Ханзадян, В.Е. Радзинский // *Гинекология*. — 2017. — Т. 19. — № 6. — С. 38–42.
19. Надточий А.В. Стратификация факторов риска рецидива генитального пролапса у женщин в менопаузальном периоде после хирургической коррекции (обзор литературы) / А.В. Надточий, В.А. Крутова, К.В. Гордон, Ф.Е. Филиппов // *Современные вопросы биомедицины*. — 2022. — Т. 6. — № 1. DOI: 10.51871/2588–0500\_2022\_06\_01\_5

© Минович Екатерина Евгеньевна (mirovich.k@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СВЯЗЬ ГИПЕРПЛАЗИИ ДЕСЕН С МИКРОФЛОРОЙ ПОЛОСТИ РТА У ПАЦИЕНТОВ ДЕТСКОГО ВОЗРАСТА СО СЪЕМНЫМИ ОРТОДОНТИЧЕСКИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

## RELATIONSHIP OF GINGIVAL HYPERPLASIA WITH ORAL MICROFLORA IN CHILDREN PATIENTS WITH REMOVABLE ORTHODONTIC CONSTRUCTIONS

*E. Streltsova*

*Summary.* This study analyses the changes in oral microflora in children with removable orthodontic constructions and the presence of gingival hyperplasia compared to healthy volunteers of comparable age. The results reveal a decrease in resistant obligate microflora in children with gingival hyperplasia and an increase in opportunistic and pathogenic microflora. It is supposed that the decrease of resistance of obligate microflora entailed the development of oral dysbiosis with the accession of opportunistic microorganisms, which could lead to gingival inflammation and affect the degree of hyperplasia.

*Keywords:* gingival hyperplasia, wearing braces, oral microflora, oral microbiome.

**Стрельцова Екатерина Владимировна**

детский врач-стоматолог, КГАУЗ «Норильская городская стоматологическая поликлиника»

*Shelyakinaev@yandex.ru*

*Аннотация.* В данном исследовании проводится анализ изменений микрофлоры полости рта у детей со съёмными ортодонтическими конструкциями и наличием гиперплазии десен по сравнению со здоровыми добровольцами сопоставимого возраста. По результатам работы выявляется снижение резистентной облигатной микрофлоры у детей с гиперплазией десен и повышение условно-патогенной и патогенной микрофлоры. Предполагается, что снижение резистентности облигатной микрофлоры повлекло за собой развитие дисбиоза полости рта с присоединением условно-патогенных микроорганизмов, которые могли привести к воспалению десен и повлиять на степень выраженности гиперплазии.

*Ключевые слова:* гиперплазия десен, ношение брекет-системы, микрофлора полости рта, микробиом рта.

Состав микробиома полости рта обладает рядом важных функций [1], в частности, защита от патогенных микроорганизмов, участие в переваривании пищи и расщеплении углеводов [2], профилактика орального канцерогенеза.

В настоящее время понятию микробиома полости рта посвящено множество исследований. По поисковому запросу microbiome в поисковой сети PubMed найдено 170 тыс. результатов, 70,6 % (120 тыс.) из которых опубликованы за последние 5 лет.

При развитии плоскоклеточной карциномы полости рта при исследовании микробиома наблюдалось изменение состава микрофлоры, а в исследованиях на мышах замещение микрофлоры полости рта способствовало развитию химически индуцированному оральному канцерогенезу [3]. Микрофлора языка, дентальных карманов, зубов, неба и щек крайне гетерогенная. Изменения в составе микрофлоры могут происходить из-за беременности, курения, воспаления и других состояний, приводящих к изменению среды полости рта. Также при патологиях отделов желудочно-кишечного тракта ниже ротовой полости, представители микрофлоры могут спускаться и колонизировать желудок и кишечник. Более

того, рядом ученых выявлена взаимосвязь между определенными штаммами бактерий ротовой полости и развитием таких заболеваний, как: болезнь Альцгеймера, сахарный диабет, артериальная гипертензия и другие [4; 5; 6]. На это может указывать вторичное изменение оральной микрофлоры. Однако, некоторые токсические соединения могут оказывать иммунное и нейротропное действие, что может объяснить участие в патогенезе вышеописанных заболеваний. Таким образом, дополнительное влияние в развитии различных заболеваний оказывает микрофлора полости рта.

Дополнительные затраты на лечение гиперплазии десен и снижение эстетичности может снижать популярность использования ортодонтических конструкций среди молодежи. Кроме того, низкая комплаентность в детском возрасте может приводить к хронизации процесса и необходимости хирургического вмешательства. Изучение различий микрофлоры у пациентов при использовании брекет-систем и развитии гиперплазии десен и здоровых детей требует оценки возможного влияния измененной микрофлоры на развитие гиперплазии десен.

Проведено проспективное исследование. Для отбора пациентов были выбраны следующие критерии

включения и исключения. Критерии включения основной группы: возраст до 18 лет, согласие родителей или опекунов на участие в исследовании, согласие на проведение инцизионной биопсии, ношение брекетов более 1 года, наличие гиперплазии десен ортодонтической конструкции.

Критерии исключения: ношение брекетов менее 1 года, отсутствие гиперплазии десен, возраст на момент диагностирования гиперплазии десен >18 лет, отсутствие согласия от родителей или законных представителей.

Критерии включения в группы сравнения: возраст до 18 лет, согласие родителей или опекунов на участие в исследовании, отсутствие ношения брекетов, отсутствие признаков гиперплазии, отсутствие других поражений зубов и десен.

Здоровые пациенты были отобраны в соответствии с критериями включения группы сравнения и после профилактического осмотра полости рта для исключения патологии десен или зубов. Для исключения субъективизации процесса отбора участников исследования был проведен рандомизированный отбор среди подходящих под условия включения 20 человек, соответственно количеству пациентов из основной группы.

Критерии постановки диагноза гипертрофия десен основывается на субъективной оценке врачом-стоматологом наличия и выраженности разрастания ткани десен (генерализованное) по щечной/язычной или обоим сторонам.

Всем пациентам была назначена инцизионная биопсия, полученный материал отправлен на гистологическое исследование, по результатам которого вы-



Рис. 1. Гипертрофия десен

ставлялся диагноз гиперплазии десен и исключалась злокачественность новообразования.

Всем пациентам вне зависимости от жалоб был проведен осмотр полости рта для оценки состояния слизистой, а также перкуссия зубов для определения их подвижности и наличия пародонтальных карманов.

В качестве метода исследования использовался бактериологический посев микрофлоры из десневого кармана и слизистой полости рта. Проводился соскоб из ротовой полости с помощью стерильной медицинской лопатки или щетки, измерение глубины десневых карманов с помощью калиброванной стоматологической гладилки и взятие образца из них.

Все процедуры проводились стерильными одноразовыми или обработанными многоразовыми инструментами с соблюдением всех медицинских СанПиНов по работе с биологическим материалом. Полученный субстрат высевался на питательную среду в чашки Петри, затем анализировался микроскопически при окрашивании метиленовым синим, также проводился тест на антибиотикорезистентность. Бактериологический посев проводился всем участникам исследования.

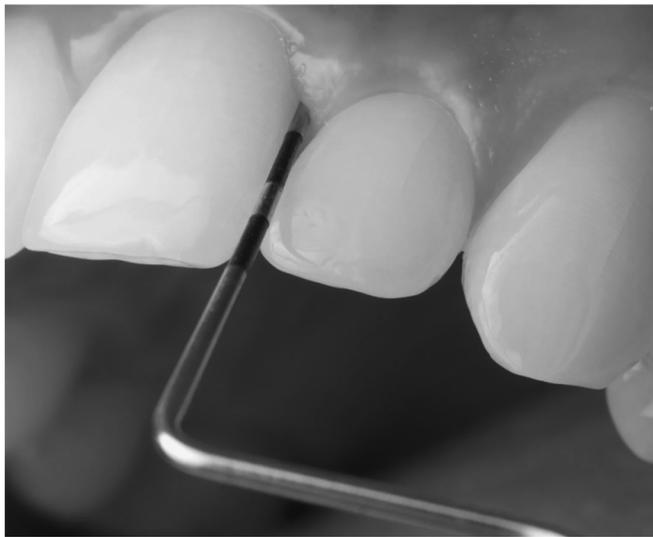


Рис. 2, 3. Методика взятия бактериологического посева из ротовой полости

Проводилась инцизионная биопсия при помощи скальпеля с последующим наложением швов и предварительной анестезией при необходимости. Отличие данной манипуляции от эксцизионной биопсии — объем вмешательства: в данном случае, он небольшой и проводится для взятия кусочка биоматериала для иммуногистохимического исследования. В ходе изучения биоматериала фиксировалось количественная оценка измененных клеточных структур десен и их геометрические размеры. Для группы с гиперплазией десен было характерно увеличение числа клеток эпителия и сетчатого слоя и васкуляризации тканей с отсутствием атипичных клеток. Инцизионная биопсия проводилась только пациентам из основной группы.

Статистическая обработка проводилась в программе STATISTICA. Проверка на нормальность распределения показателей проводилась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Сравнение количественных показателей проводилось с помощью t-критерия Стьюдента для нормального распределения и U-критерия Манна-Уитни для ненормального. Относительные показатели — с помощью хи-квадрата Пирсона.

Всего в исследовании приняло участие 20 пациентов (средний возраст  $15 \pm 2,5$  лет), которые обратились к стоматологу-терапевту в период с января 2023 по октябрь 2023 года. Средний срок ношения брекет системы  $13 \pm 1$  месяцев.

Пациентов в группе сравнения, соответствующих критериям включения, было 42. Среди них провели отбор с помощью рандомизированного слепого метода и выбрали 20 человек для сопоставимых результатов сравнения. Средний возраст добровольцев  $14 \pm 1,2$  лет.

Результаты бактериологического исследования здоровых пациентов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Микрофлора ротовой полости у группы сравнения

Микроорганизмы	Частота встречаемости, n (%)	Концентрация в 1 мл слюны
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	6 (30 %)	$10^2$
<i>Streptococcus salivarius</i>	20 (100 %)	$10^9 \pm 10^1$
<i>S.mitis</i>	19 (95 %)	
<i>S.salivarius</i>	20 (100 %)	
<i>S.mutans</i>	2 (10 %)	
<i>V. parvula</i>	1 (5 %)	$10^7$
<i>L. brevis, L. casei</i>	13 (65 %)	$10^4$
<i>Streptococcus oralis</i>	14 (70 %)	—
<i>Candida albicans</i>	10 (50 %)	—
<i>Neisseria subflava</i>	4 (20 %)	$10^8$

Данные бактериологического исследования по основной группе представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты бактериологического исследования у пациентов с гиперплазией десен

Микроорганизмы	Частота встречаемости, n (%)	Концентрация в 1 мл слюны
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	5 (25 %)	$10^1$
<i>S.salivarius</i>	17 (85 %)	$10^5$ (снижение от нормальных значений)
<i>S.mitis</i>	16 (80 %)	
<i>S.salivarius</i>	19 (95 %)	
<i>S.mutans</i>	8 (40 %)	
<i>Peptococcus niger</i>	1 (5 %)	$10^4$
<i>L. brevis, L. casei</i>	16 (80 %)	$10^5$
<i>Streptococcus oralis</i>	13 (65 %)	—
<i>Veillonella parvula</i>	15 (75 %)	$10^{13}$
<i>Candida albicans</i>	11 (55 %)	—
<i>Neisseria subflava</i>	7 (35 %)	$10^7$
<i>Prevotella intermedia</i>	16 (80 %)	—
<i>Prevotella oralis</i>	13 (65 %)	—

Как можно отметить, при анализе данных таблиц общими представителями микрофлоры были резидентные облигатные представители (*S. salivarius, S.salivarius, Staphylococcus epidermidis, S.mitis, Veillonella parvula* и др.), однако их концентрация при наличии гиперплазии десен значительно ниже референсных значений. При этом в основной группе увеличивается количество агрессивных бактерий, повышающихся при наличии воспаления или поражения зубов: стрептококков (*S.mutans*), лактобацилл, бактероидов, превотеллы и пептококки. Их появление может при наличии благоприятных условий для размножения приводить к воспалению при наличии ранок.

В то же время гиперплазия десен характеризуется высокой травматичностью разросшихся участков десен и болезненностью при чистке, что в совокупности с ношением ортодонтических конструкций значительно затрудняет процесс чистки зубов (болезненный и труднодоступный), что приводит к увеличению ткани десен и присоединению воспаления. Так как концентрация микроорганизмов в пересчете на 1 мл слюны была представлена лабораторией не всегда, то расчет статистически значимых различий проводился по частоте встречаемости микроорганизма. Результаты по статистическому анализу микроорганизмов, характерных для гиперплазии десен представлена в таблице 3.

Различия в облигатной резистентной микрофлоре оказались незначимыми между группами. Однако, при гиперплазии десен увеличивалось количество *S.mutans*

(не статистически значимо, однако определена умеренная положительная взаимосвязь) и *V. parvula*, происходила колонизация *Peptococcus niger*, *Prevotella intermedia* и *P. oralis*. Превотеллы, пептококки и вейлонеллы встречаются при различных воспалительных процессах в челюстно-лицевой области, в том числе при поражениях десен. Стрептококк данного вида повышается при повреждениях зубов. В данной ситуации это могло быть вторичное изменение в ответ на деятельность превотелл, пептококков и вейлонелл.

Таблица 3.

Анализ различий встречаемости микроорганизмов в микрофлоре ротовой полости у пациентов с гиперплазией десен и у здоровых детей

Микроорганизмы	p-value	$r_{xy}$
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	0.9	0.001
<i>Streptococcus salivarius</i>	0.4	0.02
<i>S.mitis</i>	0.36	0.015
<i>S.salivarius</i>	0.91	0.0011
<i>S.mutans</i>	0.06	<b>0.69</b>
<i>V. parvula</i>	<b>0.04</b>	<b>0.86</b>
<i>L. brevis, L. casei.</i>	0.74	0.009
<i>Streptococcus oralis</i>	0.92	0.0013
<i>Candida albicans</i>	0.86	0.0021
<i>Neisseria subflava</i>	0.09	0.061
<i>Peptococcus niger</i>	<b>0.05</b>	<b>0.82</b>
<i>Prevotella intermedia</i>	<b>0.01</b>	<b>0.91</b>
<i>Prevotella oralis</i>	<b>0.03</b>	<b>0.87</b>

**Катамнез пациентов**

Для детей до окончания полового созревания не рекомендуется использование хирургических методов ле-

чения в связи с высоким риском рецидива. Для участников данного исследования с гиперплазией десен было предложено удаление брекет-системы (в случае, если это позволяло состояние зубов и коррекция их положения) или физиотерапия. У 18 (90 %) участников срок ношения брекет-системы подошел к концу, перемещение зубов достигло удовлетворительной и хорошей степени выравнивания, поэтому они согласились на удаление брекетов. Затем проводились консультации относительно гигиены полости рта. Оставшиеся два (10 %) пациента не достигли целевых результатов, поэтому остались с брекетами и индивидуально подобранной гигиеной полости рта (а также, противовоспалительные полоскания отваром ромашки и календулы, коры дуба, бензидаминол и аппликации бефунгина или мараславина). Все пациенты достигли регресса гиперплазии десен в течение  $14 \pm 7,8$  недель (Рис.4,5). Для пациентов с брекет-системами данный курс приходилось повторять регулярно до окончания ношения ортодонтической конструкции.

Гиперплазия десен в подростковом возрасте особенно при наличии брекет-системы происходит по нескольким причинам: гормональные изменения в организме, давления со стороны ортодонтической конструкции, воспаление десен и накопление соединений никеля [7, 8]. Причины, связанные с изменением оральной микрофлоры также описаны [9]. Так же, как и в данном исследовании, преобладающими микроорганизмами были стафилококки, представители нормальной микрофлоры, в обеих группах, а при развитии гиперплазии десен было отмечено повышение уровня грамотрицательных бактерий.

По результатам данного исследования отмечено повышение не только грамотрицательных (превотелла, вайонелла), но и грамположительных (пептококки) бактерий, однако деятельность и тех и других связана с вос-

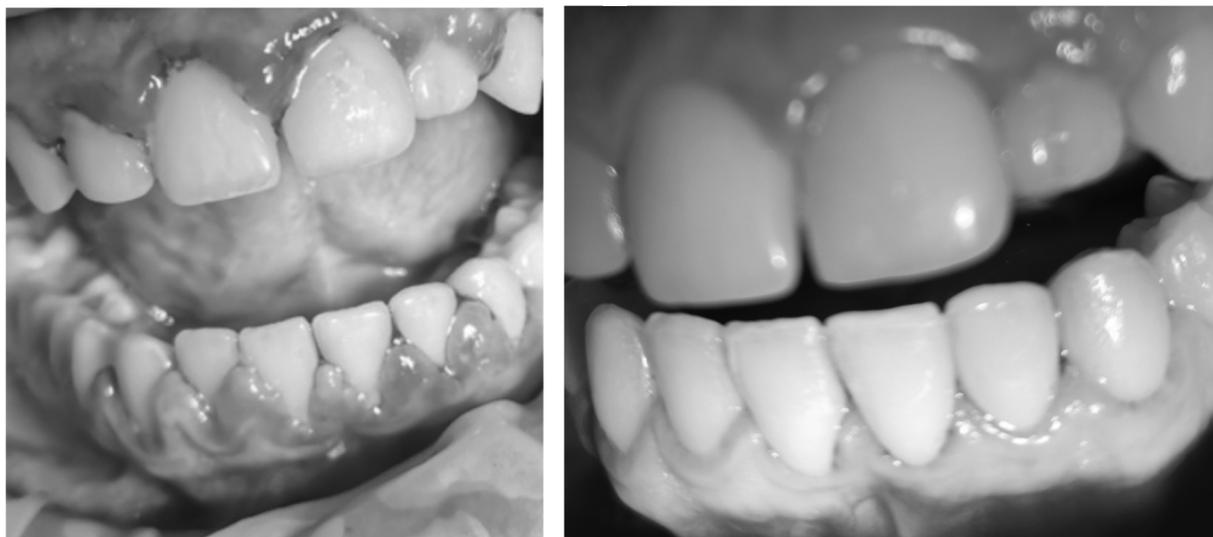


Рис. 4, 5. Фото до и после лечения гиперплазии десен

палительными процессами в полости рта. Часто применение ортодонтических конструкций ассоциировано с воспалительной реакцией, что является фактором риска гиперплазии десен, что влияет на микробиомный состав полости рта и, вероятно, ассоциировано с таким осложнением как гипертрофия и гиперплазия десен.

Влияние микрофлоры полости рта может заключаться в следующем: во-первых, происходит колонизация патогенных и условно-патогенных бактерий, которые в условиях ношения ортодонтической конструкции увеличивают свое представительство относительно других микроорганизмов; во-вторых, при ношении ортодонти-

ческих конструкций затрудняется процесс полноценной гигиены полости рта, в том числе труднодоступных участков, что создает благоприятные условия для персистенции флоры в гингивальных карманах.

По результатам исследования, главными участниками в патогенезе развития гиперплазии десен можно считать *S.mutans* (p-value 0.06), *V. parvula* (p-value 0.04), *Peptococcus niger* (p-value 0.05), *Prevotella intermedia* (p-value 0.01) и *P. oralis* (p-value 0.03), однако, требуются дополнительные исследования данного вопроса для выяснения конкретных механизмов гипертрофии.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sedghi L., DiMassa V., Harrington A., Lynch S.V., Kapila Y.L. The oral microbiome: Role of key organisms and complex networks in oral health and disease. *Periodontol* 2000. 2021 Oct;87(1):107–131. doi: 10.1111/prd.12393. PMID: 34463991; PMCID: PMC8457218.
2. Zheng H., Xie T., Li S., Qiao X., Lu Y., and Feng Y. (2021). Analysis of oral microbial dysbiosis associated with early childhood caries. *BMC Oral Health* 21:181. doi: 10.1186/s12903-021-01543-x
3. Stashenko P., Yost S., Choi Y., Danciu T., Chen T., Yoganathan S., Kressirer C., Ruiz-Tourrella M., Das B., Kokaras A., et al. The Oral Mouse Microbiome Promotes Tumorigenesis in Oral Squamous Cell Carcinoma. *mSystems* 2019, 4.
4. Sureda A., Daglia M., Arguelles Castilla S., Sanadgol N., Fazel Nabavi S., Khan H., Belwal T., Jeandet P., Marchese A., Pistollato F. et al. Oral microbiota, and Alzheimer's disease: Do all roads lead to Rome? *Pharmacol. Res.* 2020, 151, 104582.
5. Fak F., Tremaroli V., Bergstrom G., Backhed F. Oral microbiota in patients with atherosclerosis. *Atherosclerosis* 2015, 243, 573–578.
6. Mesa F., Magan-Fernandez A., Castellino G., Chianetta R., Nibali L., Rizzo M. Periodontitis, and mechanisms of cardiometabolic risk: Novel insights and future perspectives. *Biochim. Biophys. Acta Mol. Basis Dis.* 2019, 1865, 476–484
7. Pearlman B.A. An oral contraceptive drug and gingival enlargement; the relationship between local and systemic factors. *J Clin Periodontol.* 1974;1(1):47–51. doi: 10.1111/j.1600-051x.1974.tb01238. x. PMID: 4532116
8. Gursoy U.K., Sokucu O., Uitto V.J., Aydin A., Demirer S., Toker H., Erdem O., Sayal A. The role of nickel accumulation and epithelial cell proliferation in orthodontic treatment-induced gingival overgrowth. *Eur J Orthod.* 2007 Dec;29(6):555–8. doi: 10.1093/ejo/cjm074. Epub 2007 Nov 7. PMID: 17989122.
9. Takada K., Sugiyama H., Umezawa K., Mega J., Hirasawa M. The subgingival microflora in phenytoin-induced gingival hyperplasia. *J Periodontal Res.* 2003 Oct;38(5):477-81. doi: 10.1034/j.1600-0765.2003.00676. x. PMID: 12941071.

---

© Стрельцова Екатерина Владимировна (Shelyakinaev@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РЕЗУЛЬТАТЫ БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА РАННЕМ СРОКЕ БЕРЕМЕННОСТИ У ЖЕНЩИН С УГРОЗОЙ НЕВЫНАШИВАНИЯ

## THE RESULTS OF BACTERIOLOGICAL STUDIES IN EARLY PREGNANCY IN WOMEN AT RISK OF MISCARRIAGE

**О. Тюмина**  
**N. Kalyuzhnaya**  
**A. Shevchuk**  
**A. Ibragimova**  
**T. Ivanova**  
**R. Balter**  
**D. Ismatullin**

*Summary.* The results of bacteriological studies of urine and discharge from the cervical canal of 215 women with the threat of early termination of pregnancy were analyzed and reviewed. It has been established that the infectious factor during this period is not significant in the genesis of the threat and spontaneous termination of pregnancy. The necessity of widespread use of methods of bacteriological examination of the urinary tract and genital tract for the successful completion of the gestational process has been confirmed. It was determined that timely rehabilitation of foci of infection reduces the threat of miscarriage and significantly reduces gestational complications.

*Keywords:* spontaneous abortion, cervical canal, infectious factor, pregnancy, Student's t-criteria.

**Тюмина Ольга Владимировна**

доктор медицинских наук, главный врач,  
медицинский центр «Династия», г. Самара  
centr123@bk.ru

**Калужная Наталья Станиславовна**

Заведующая отделением,  
медицинский центр «Династия» г. Самара  
samaraobsgyn2@yandex.ru

**Шевчук Алексей Анатольевич**

кандидат медицинских наук, врач акушер-гинеколог,  
медицинский центр «Династия» г. Самара  
a\_shevchuk72@mail.ru

**Ибрагимова Алина Ришатовна**

кандидат медицинских наук, доцент, Самарский  
государственный медицинский университет  
a.r.ibragimova@samsmu.ru

**Иванова Татьяна Владимировна**

кандидат медицинских наук, доцент, Самарский  
государственный медицинский университет  
t.v.ivanova@samsmu.ru

**Балтер Регина Борисовна**

доктор медицинских наук, профессор, заведующая  
кафедрой, Самарский государственный медицинский  
университет  
r.b.balter@samsmu.ru

**Исматуллин Данир Дамирович**

кандидат медицинских наук, заведующий  
лабораторией, Самарский государственный  
медицинский университет  
samaraobsgyn2@yandex.ru

*Аннотация.* Проведен анализ и рассмотрены результаты бактериологических исследований мочи и отделяемого из цервикального канала 215 женщин с угрозой прерывания беременности на ранних сроках. Установлено, что инфекционный фактор в этот период не является значимым в генезе угрозы и самопроизвольного прерывания беременности. Подтверждена необходимость широкого использования методов бактериологического исследования мочевыводящих путей и полового тракта для успешного завершения гестационного процесса. Определено, что своевременная санация очагов инфекции снижает угрозу выкидыша и существенно уменьшает гестационные осложнения.

*Ключевые слова:* самопроизвольный аборт, цервикальный канал, инфекционный фактор, беременность, t-критерия Стьюдента.

**Ц**ель работы — анализ данных бактериологических исследований мочи и отделяемого цервикального канала женщин с угрозой прерывания беременности на ранних сроках.

Самопроизвольный аборт — спонтанное завершение беременности на сроке до 28 недель гестации, которое не позволяет плоду достичь зрелого жизнеспособного состояния. Специалисты относят его к основным видам акушерской патологии. Согласно статистическим данным, частота самопроизвольных прерываний составляет 15–20 % от всех желанных беременностей [1].

Ряд авторов высказывают мнение о том, что самопроизвольные выкидыши первого триместра являются инструментом естественного отбора, что в некоторых случаях подтверждается генетическими исследованиями [2, 3].

Однако причины подобного спорадического самопроизвольного аборта чрезвычайно разнообразны и не всегда чётко обозначены.

*Социальные факторы* самопроизвольного прерывания беременности:

- вредные привычки обоих супругов;
- производственно-профессиональные негативные факторы;
- тяжелый физический труд;
- вредный газовый фактор во вдыхаемом воздухе рабочей зоны помещений;
- несоблюдение правил безопасности на производстве [4, 5].

*Медицинские факторы* самопроизвольного прерывания беременности:

- генетические поломки кариотипа родителей и эмбриона;
- эндокринные нарушения;
- пороки развития матки;
- предшествующие аборты;
- перенесенные инфекционные заболевания;
- Covid-19 и пр. [6, 7].

В научной литературе опубликовано множество работ о влиянии инфекций на преждевременное прерывание беременности [8, 9]. Более пятнадцати лет, практически с момента создания отделения невынашивания беременности, в городе Самаре работает центр планирования семьи и репродукции, ныне — ГБУЗ МЦ «Династия», в котором авторы исследования занимаются данной проблемой [10, 11].

Анализ причин abortивного исхода, в том числе инфекционного генеза, у женщин с угрозой прерывания беременности на ранних сроках, является актуальной

задачей и определяет цель исследования, которое проводилось в микробиологическом отделе клинко-диагностической лаборатории клиник Самарского государственного медицинского университета (СамГМУ). При этом пациентки получали необходимую медицинскую помощь в акушерском отделении патологии беременности ГБУЗ «МЦ Династия».

Обследование женщин, вошедших в группы сравнения, осуществлялось с их письменного информированного согласия. Лечение, направленное на сохранение беременности, проводилось в соответствии с актуальными протоколами и стандартами.

Всего было обследовано 215 женщин, поступивших в отделение с угрозой прерывания беременности в срок  $15 \pm 3,0$  недели. Средний возраст пациенток оставил  $31 \pm 2,1$  года.

Все, кто принимал участие в обследовании, в зависимости от исхода беременности, были распределены на *группы сравнения*:

- 1 группа — женщины, у которых беременность удалось сохранить (190 человек);
- 2 группа — женщины, у которых беременность прервалась (25 человек).

В зависимости от патологии и причин невынашивания, беременные в обеих группах клинически были распределены на *подгруппы*:

- после экстракорпорального оплодотворения (ЭКО);
- с истмико-цервикальной недостаточностью (ИЦН);
- с привычным невынашиванием беременности и прочими патологиями.

В обеих группах пациенткам было проведено бактериологическое исследование мочи и отделяемого из цервикального канала, из них — 56 женщин по показаниям. В ходе исследования определялся микробный пейзаж и чувствительность микробной флоры к антибиотикам в соответствии с приказом Министерства здравоохранения РФ от 20 октября 2020 г. N 1130н «Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи по профилю «Акушерство и гинекология».

После взятия пробы из цервикального канала тампон помещали в жидкую транспортную питательную среду Эймса и в изотермических условиях доставляли в лабораторию в течение двух часов.

В лаборатории материал засеивали на *плотные питательные среды*:

- 5 % кровяной агар («HiMedia», Индия);
- анаэробный агар («HiMedia», Индия);

- агар для выделения бифидобактерий («HiMedia», Индия);
- агар для выделения лактобактерий (HiMedia, Индия);
- универсальная хромогенная среда («Bio-Rad», США).

Посевы инкубировали в течение пяти суток в аэробных и анаэробных условиях, которые создавали, используя анаэробную станцию Vacron 300 («Sheldon», США).

Посев мочи проводился на универсальную хромогенную среду (Conda, Испания), 5 % кровяной агар («HiMedia», Индия).

Посевы инкубировали в течение двух суток в аэробных и микроаэрофильных условиях.

Идентификацию микроорганизмов осуществляли с использованием «MALDI-ToF» масс-спектрометра («Bruker», Германия). Полученные результаты статистически обрабатывались с применением программы MedCalc (версия 15.2). Степень достоверности различий полученных результатов оценивалась с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок, критический уровень значимости различий  $p < 0,05$ .

Проведенные исследования свидетельствовали о том, что у 64 (33,6 %) женщин первой группы и у 11 пациентов (44,0 %) второй группы обнаружен рост флоры при бактериологическом исследовании мочи. Результаты зафиксированы в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты бактериологического исследования мочи у женщин сравниваемых групп (абсолютное число — % женщин в каждой группе)

Группа	Результат бактериологического исследования мочи			ИТОГО
	Без роста микрофлоры	Микст микроорганизмов в диагностически незначимом титре	Бактерии в диагностически значимом титре ( $10^{*4}$ КОЭ/мл)	
	% (абс)	% (абс)	% (абс)	
1 группа (190 чел.)	31,0 (59)	35,3 (67)	33,6 (64)	100,0 (190)
2 группа (25 чел.)	24,0 (6)	32,0 (8)	44 (11)	100,0 (25)
P1-2	0,898	0,123	0,231	—

*Примечание.* p — критерий значимости различий в показателях сравниваемых групп

Рассматривая полученные результаты следует указать, что у женщин с сохраненной беременностью

удельный вес пациенток без роста микрофлоры и с диагностически не значимым титром микроорганизмов был значительно больше, чем с диагностически значимым титром микроорганизмов в моче — 68,4 и 33,6 %, соответственно ( $p < 0,05$ ).

Что касается второй группы — с прервавшейся беременностью, то здесь бактерии в диагностически значимом титре ( $10^{*4}$  КОЭ/мл) присутствовали у 44,0 % женщин в то время, как без роста микрофлоры и с диагностически незначимым титром — у 56,0 % пациенток ( $p > 0,05$ ). Однако между показателями микробного пейзажа 1 и 2 групп женщин статистической разницы не выявлено.

Рассматривая распределение пациенток с сохраненной беременностью, отметим, что наибольший удельный вес приходится на беременных без роста микрофлоры с диагностически незначимым титром ( $71\% \pm 2,3$  %). В то же время у женщин с положительным результатом анализа выявление бактерий в диагностически значимом титре отмечалось лишь в  $29,0 \pm 3,2$  % наблюдений. Результаты отражены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты бактериологического исследования мочи у женщин с сохраненной беременностью (% к числу беременных женщин в каждой подгруппе)

Группа	Результат бактериологического исследования мочи			ИТОГО
	Без роста микрофлоры	Микст микроорганизмов в диагностически незначимом титре	Бактерии в диагностически значимом титре ( $10^{*4}$ КОЭ/мл)	
	N p±m	N p±m	N p±m	
Беременные женщины после ЭКО	32 42,2±5,7	22 28,9±5,2	22 28,9±5,2	76 38,0±9,1
ИЦН	4 50,0±18,9	2 25,0±16,3	2 25,0±16,3	8 4,0±1,4
Привычное невынашивание	6 21,4±7,8	6 21,4±7,8	16 57,1±9,5	28 14,0±2,5
Прочие причины	24 27,3±4,7	46 52,3±5,3	18 20,5±4,3	88 44,0±3,5
ВСЕГО	66 33,0±3,3	76 38,0±3,4	58 29,0±3,2	200 100,0

Отмечено, что в выделенных подгруппах отсутствовала статистически значимая разница результатов бактериологического исследования мочи: в группе женщин после ЭКО  $42,2 \pm 5,7$ , при наличии ИЦН —  $50,0 \pm 18,9$  ( $p = 0,693$ ). Однако у женщин с привычным невынашива-

нием отмечалось превалирование диагностически значимого титра бактерий в моче  $57,1 \pm 9,5$  % и  $21,4 \pm 7,8$  % ( $p=0,005$ ). В подгруппе пациенток с прочими причинами невынашивания беременности преобладал микст микроорганизмов в диагностически незначимом титре, соответственно:  $52,3 \pm 5,3$  и  $20,5 \pm 4,3$  % ( $p < 0,001$ ).

Что касается женщин с прервавшейся беременностью, то распределение результатов бактериологического исследования мочи в зависимости от клинических причин угрозы прерывания беременности представлено в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты бактериологического исследования мочи у женщин с прервавшейся беременностью (% к числу беременных женщин в каждой подгруппе)

Группа	Результат бактериологического исследования мочи			ИТОГО
	Без роста микрофлоры	Микст микроорганизмов в диагностически незначимом титре	Бактерии в диагностически значимом титре ( $10^{*4}$ КОЭ/мл)	
	N $p \pm m$	N $p \pm m$	N $p \pm m$	
Беременные женщины после ЭКО	5 $35,7 \pm 7,6$	5 $35,7 \pm 16,4$	4 $28,6 \pm 6,3$	14 $56,0 \pm 4,7$
ИЦН	–	–	–	–
Привычное невынашивание	–	–	2 $100,0 \pm 0,2$	2 $8,0 \pm 3$
Прочие причины	1 $11,1 \pm 12,1$	3 $33,3 \pm 0,1$	5 $55,5 \pm 6,3$	9 $36,0 \pm 5,5$
ВСЕГО	6 $24,0 \pm 6,2$	8 $32,0 \pm 4,7$	11 $44,0 \pm 6,7$	25 $100,0$

Рассматривая распределение пациенток с прервавшейся беременностью, в зависимости от клинических причин, определено, что наибольший удельный вес женщин с присутствием бактерий в диагностически значимом титре ( $10^{*4}$  КОЭ/мл) выявлен у женщин с привычным невынашиванием беременности ( $100,0 \pm 9,3$  %). По остальным клиническим причинам значимость бактериурии определить не представлялось возможным, в связи с малым числом наблюдений.

Что касается детализации микробной флоры в бактериологическом анализе мочи у пациенток с прервавшейся беременностью, данные результаты представлены в таблице 4.

У каждой третьей женщины, перенесшей процедуру ЭКО, был выявлен диагностически значимый титр бактериологической нагрузки —  $28,6 \pm 6,3$  %.

Таблица 4.

Микробиологический состав посева мочи у женщин двух группы (% к числу беременных женщин с бактериурией в диагностически значимом титре в каждой группе)

Группа	Микробиота			
	Streptococcus agalactiae	Enterococcus faecalis	E. coli	ИТОГО
	N $p \pm m$	N $p \pm m$	N $p \pm m$	N $p \pm m$
Беременные женщины после ЭКО	2 $50,0 \pm 13,3$	–	2 $50,0 \pm 13,3$	4 $100,0$
ИЦН	–	–	–	0
Привычное невынашивание	–	1 $50,0 \pm 16,7$	1 $50,0 \pm 16,7$	2 $100,0$
Прочие причины	–	2 $40,0 \pm 15,3$	3 $60,0 \pm 16,7$	5 $100,0$
ВСЕГО	2 $18,1 \pm 4,6$	3 $27,2 \pm 8,7$	6 $54,5 \pm 8,7$	11 $100,0$

Что касается пациенток с привычным невынашиванием, то все потерявшие плод, имели диагностически значимую бактерию. Зафиксировано, что все, кто приняли участие в данном исследовании с патологией ИЦН, беременность пролонгировали.

Проведенный анализ бактериологического состава мочи показал, что в каждой клинической подгруппе женщин с бактериурией в диагностически значимом титре преобладали бактерии Enterococcus faecalis и E. Coli. Как видно из приведенных в таблице 4 результатов исследования, у женщин с привычным невынашиванием беременности бактерии E. Coli и Enterococcus faecalis присутствуют в равных долях —  $50,0 \pm 8,7$  %. Что касается женщин после ЭКО, то бактерии Streptococcus agalactiae и E. Coli у них присутствуют также в равных долях —  $50,0 \pm 9,7$  %. Наибольшее число женщин зафиксировано с E. Coli — всего  $54,5 \pm 3,3$  % от общего количества женщин с диагностически значимой бактериурией, потерявших беременность на ранних сроках.

Таким образом, исходя из анализа полученных результатов бактериологического анализа мочи, можно отметить, что в подгруппах, где имела место бактериурия со значимым и незначимым диагностическим титром, частота прерывания беременности не была статистически значимо выше у женщин в ранние сроки.

С целью уточнения патогенетической роли перечисленных выше микроорганизмов в вопросе прерывания беременности во второй группе пациенток был проведен бактериологический анализ отделяемого из цервикального канала. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5.  
Распределение беременных женщин по результатам бактериологического посева, отделяемого из цервикального канала (% к числу беременных женщин в каждой группе)

Группа	Результат бактериологического исследования, отделяемого из цервикального канала			ИТОГО
	Без роста микрофлоры	Микст микроорганизмов в диагностически незначимом титре	Бактерии в диагностически значимом титре ( $10^{*4}$ КОЭ/мл)	
	N p±m	N p±m	N p±m	
Беременные женщины после ЭКО	3 23,1±11,2	2 15,4±14,2	8 61,5±15,1	13 100,0
ИЦН	6 75,0±14,2	2 25,0±14,2	—	8 100,0
Привычное невынашивание	7 31,8±8,6	7 31,8±9,2	8 36,4±9,2	22 100,0
Прочие причины	—	2 15,3±15,1	11 84,6±15,1	13 100,0
ВСЕГО	16 28,6±6,2	13 23,2±5,8	27 48,2±6,7	56 100,0

Рост микрофлоры в диагностически значимом титре из цервикального канала был выявлен у 48,2±6,7 % женщин. При этом именно из данной группы восемь пациенток имели абортный исход на малых сроках.

Без роста микрофлоры зафиксировано 28,6±6,2 % беременных. У остальных 23,2±5,8 % выявлен микст микроорганизмом в диагностически не значимом титре. Интерес представляло распределение микробной флоры из цервикального канала в контексте причин прерывания беременности.

У женщин с ИЦН не было выявлено ни одного случая роста флоры из цервикального канала, а у 38,5 % пациенток с «прочими причинами» определен диагностически значимый титр микроорганизмов.

При рассмотрении случаев с диагностически значимым титром бактериальной нагрузки, особого внимания заслуживает микробный пейзаж, присутствующий в цервикальном канале у женщин с прервавшейся беременностью. Показатели отражены в таблице 6.

У женщин с прервавшейся беременностью в цервикальном канале наиболее часто определялись бактерии *E. coli* — в 50,0±9,0 % случаях, бактерии *Staphylococcus*

*hominies* и *Klebsiella pneumoniae* — в 25,0±7,7 % наблюдений.

Таблица 6.  
Микробиологический состав посева, отделяемого из цервикального канала у беременных женщин с прервавшейся беременностью (% к числу беременных с диагностически значимым титром в каждой группе)

Группа	Микробиота			ИТОГО
	<i>Staphylococcus hominis</i>	<i>E. coli</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	
	N p±m	N p±m	N p±m	
Беременные женщины после ЭКО	—	2 100,0	—	2 100,0
ИЦН	—	—	—	—
Привычное невынашивание	—	1 100,0	—	1 100,0
Прочие причины	2 40±18,9	1 20±18,9	2 40±18,9	5 100,0
ВСЕГО	2 25,0±9,0	4 50,0±7,7	2 25,0±9,0	8 100,0

В группе пациенток с угрозой прерывания беременности после ЭКО и при привычном невынашивании в 100,0 % случаев преобладала бактерия *E. coli*.

Проведенный анализ показывает, что у женщин с угрозой прерывания беременности отсутствует статистически значимая разница по абортным исходам в ранние сроки. Причина — положительный результат бактериологического исследования мочи и отделяемого из цервикального канала. Однако в более поздние сроки беременности этот же положительный результат бактериологического анализа мочи и отделяемого из цервикального канала следует рассматривать как фактор риска прерывания беременности и преждевременных родов. При оценке микробиологического состава бактериологического посева мочи и отделяемого из цервикального канала лидирующим агентом являются *E. coli*, *Enterococcus faecalis*.

### Вывод

Результаты наблюдений дают возможность говорить о том, что инфекционный фактор не является значимым в генезе угрозы и самопроизвольного прерывания беременности на ее ранних сроках, однако считается фактором риска прерывания беременности и преждевременных родов на более поздних сроках. Все вышесказанное подтверждает необходимость широкого использования методов бактериологического исследования мочевыводящих путей и полового тракта для будущего прогноза и благоприятного завершения гестационного процесса.

Также сделан вывод о том, что своевременная санация очагов инфекции позволяет не только снизить угрозу выкидыша, но и уменьшает гестационные осложнения во время беременности, как у матери, так и у плода. Все

вышеперечисленное дает возможность улучшить показатели течения родов, рождаемости и демографической ситуации региона в целом.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Самигулина А.Э., Бообокова А.А., Кушубекова А.К. Невынашивание беременности: частота и тенденции // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 1. С. 87–92.
2. Беспалова О.Н. Генетика невынашивания и беременности // Журнал акушерства и женских болезней. 2007. Т. LVI (1). С. 81–95.
3. Expanding the genetic and phenotypic spectrum of the subcortical maternal complex genes in recurrent preimplantation embryonic arrest / W. Zheng, H. Hu, J. Dai, S. Zhang et al. // Clin. Genet. 2021. N. 99(2). P. 286–91.
4. Борисова Л.И., Иванова Т.В., Ибрагимова А.Р. Хроническая тазовая боль, как сигнал воспалительных заболеваний органов малого таза: сб. ст. Международная научно-практическая конференция 25 августа 2023 года «Научные исследования в высшей школе: новые идеи, проблемы внедрения, поиск решений». Уфа: НИЦ АЭТЕРНА. 2023. С.136–138.
5. Пустотина О.А., Остроменский В.В. Инфекционный фактор в генезе невынашивания беременности // Эффективная фармакотерапия. 2019. Т. 15 (13). С. 26–33.
6. Городницкая Е.Э., Латышкевич О.А. Микробиоценоз влагалища и пути его коррекции у женщин с невынашиванием беременности и преждевременными родами в анамнезе // Российский вестник акушера-гинеколога. 2014. Т. 14 (1). С. 81–83.
7. Особенности микробиоценоза влагалища при различных клинических вариантах невынашивания беременности / Е.Н. Лобанова, К.В. Комзин, М.И. Соловьева, А.Ю. Воронина, Я.А. Ахременко, В.И. Иллларова // Акушерство, гинекология и репродукция. 2019. Т. 13 (1). С. 13–19.
8. Маточный микробиом и иммуногистохимические маркеры хронического эндометрита при привычном невынашивании беременности / В.В. Баринаева, Н.Б. Кузнецова, И.О. Буштырева, В.В. Дудурич, А.Е. Шаталов // Акушерство и гинекология. 2022. № 4. С. 84–94.
9. Review: chronic endometritis and its effect on reproduction / F. Kimura, A. Takebayashi, M. Ishida, A. Nakamura et al. // Obstet. Gynaecol. Res. 2019. Т. 45 (5). P. 951–60.
10. Борисова Л.И., Целкович Л.С., Тюмина О.В. Влияние интенсивности ХТБ на течение воспалительного процесса гениталий: сб. ст. Международная научно-практическая конференция 20 ноября 2023 года «Современная научно-образовательная среда: междисциплинарный подход». Уфа: НИЦ АЭТЕРНА. 2023. С. 211–213.
11. Целкович Л.С., Иванова Т.В. Влияние соматической и экстрагенитальной патологии в анамнезе женщин с неразвивающейся беременностью после экстракорпорального оплодотворения: сб. ст. Международная научно-практическая конференция 25 августа 2023 года «Научные исследования в высшей школе: новые идеи, проблемы внедрения, поиск решений». Уфа: НИЦ АЭТЕРНА. 2023. С. 136–138.

---

© Тюмина Ольга Владимировна (centr123@bk.ru); Калужная Наталья Станиславовна (samaraobsgyn2@yandex.ru); Шевчук Алексей Анатольевич (a\_shevchuk72@mail.ru); Ибрагимова Алина Ришатовна (a.ibragimova@samsmu.ru); Иванова Татьяна Владимировна (t.v.ivanova@samsmu.ru); Балтер Регина Борисовна (r.b.balter@samsmu.ru); Исмагуллин Данир Дамирович (samaraobsgyn2@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РОЛЬ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИАЛЬНЫХ ОПУХОЛЕЙ В ЭПИЛЕПТИЗАЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

## THE ROLE OF MOLECULAR GENETIC CHARACTERISTICS OF GLIAL TUMORS IN BRAIN EPILEPSY

A. Shchavinskaya

**Summary.** Epileptic seizures are common symptom of a brain tumor. Due to their morphological characteristics, low grade gliomas (LGG) remain one of the most epileptogenic tumors. At the same time, the number of studies on LGG-associated epilepsy is insufficient. The average overall survival in LGG, according to various authors, ranges from 6 to 8 years. Seizures with structural epilepsy can have very pronounced clinical manifestations, which, along with the oncological component, significantly reduces the quality of patient's life. This determines the need for a detailed study of all the links of tumor-associated epilepsy.

**Keywords:** molecular genetic profile, gliomas, LGG, HGG, IDH-mutation, tumor-associated epilepsy (TAE).

**Щавинская Ася Валерьевна**

врач-нейрохирург, Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. Н.Н. Бурденко»  
asyashavinskaya@gmail.com

**Аннотация.** Эпилептические приступы — частый симптом проявления опухоли головного мозга. Благодаря своим морфологическим характеристикам одними из самых epileptогенных опухолей остаются глиомы низкой степени злокачественности (LGG). В то же время количество исследований по LGG-ассоциированной эпилепсии недостаточно. Средняя общая выживаемость при LGG, по данным разных авторов, колеблется от 6 до 8 лет. Приступы при структурной эпилепсии могут иметь очень выраженные клинические проявления, что, наряду с онкологической составляющей, значительно снижает качество жизни пациентов. Это определяет необходимость детального изучения всех звеньев опухоль-ассоциированной эпилепсии.

**Ключевые слова:** молекулярно-генетический профиль, глиомы, LGG, HGG, мутация IDH, опухоль-ассоциированная эпилепсия (ОАЭ).

### Введение

Новая классификация Эпилепсии ILAE 2017 г. предполагает несколько шагов в формулировке диагноза — последовательный анализ типа приступов, формы эпилепсии и, наконец, выведение специфического синдромального диагноза. На каждом из этих уровней подчеркивается необходимость выяснения этиологии заболевания, поскольку это является одним из факторов, влияющих на лечение.

По данным Prakash et al., примерно у 90 % пациентов с глиомами низкой степени злокачественности (LGG) и у 50 % пациентов с глиомами высокой степени злокачественности (HGG) наблюдается опухоль-ассоциированная эпилепсия (ОАЭ), которая определяется возникновением спонтанных припадков с четкой корреляцией с опухолью [1].

Существует ряд предрасполагающих факторов к развитию у пациента с опухолями головного мозга приступов, одним из которых, вероятно, является непосредственная характеристика опухоли. Наступление молекулярно-генетической эры в нейроонкологии, исследования в области генетики эпилепсии определяют необходимость пересмотра и расширения ранее изученных факторов, которые могут влиять на форми-

рование структурной эпилепсии, сохраняющейся, в том числе после удаления опухоли.

Цель статьи — попытка систематизировать актуальное состояние проблемы ассоциированных с характеристиками глиом причин развития эпилептических приступов у пациентов с опухолями ЦНС по данным литературы.

### Методы

В представленной статье проведен обзор литературных источников, в которых затрагивалась тема роли молекулярно-генетических характеристик глиальных опухолей в развитии структурной эпилепсии у взрослого населения (>18 лет), найденных в системах PubMed и eLIBRARY за последние 10 лет с акцентом на статьи, вышедшие после обновления классификации опухолей ЦНС (2021–2024 гг).

При этом не учитывалась литература, касающаяся глионейрональных и нейрональных опухолей, доброкачественных образований оболочек головного мозга и черепных нервов, церебральных метастазов, рецидивов первичных опухолей. Собранный материал описывает проблему в отношении диффузных глиом 2–4 grade, одним из проявлений, которых стали эпилептические приступы у пациентов, не имеющих приступов ранее и не страдающих эпилепсией иной этиологии.

## Результаты

Согласно определению Международной противозлептической лиги, опухоль-ассоциированная эпилепсия (ОАЭ) — это этиологически-обусловленный эпилептический синдром, имеющий специфические алгоритмы лечения и прогнозы. ОАЭ — группа фокальных эпилепсий, включающих фокальные приступы (моторные и/или немоторные), фокальные приступы с нарушением осознанности и билатеральные тонико-клонические приступы с фокальным началом [2].

Механизмы, участвующие в эпилептогенезе головного мозга, можно условно разделить на два раздела — механизмы, связанные с характеристиками самой опухоли и с микроокружением опухоли — перитуморозной зоной.

Вариабельность частоты возникновения эпилепсии в зависимости от опухолевой патологии, лежащей в основе ОАЭ, привело к обнаружению множества механизмов эпилептогенеза, которые, вероятно, могут сочетаться в патогенезе развития ОАЭ у одного и того же пациента. Кроме того, последние достижения в области технологии микроэлектродной регистрации, оптогенетических моделей *in vivo* и секвенирования опухолей указывают на сложную двунаправленную взаимосвязь между клетками глиомы и повышенной возбудимостью соседних нейронов [2].

Молекулярно-генетический профиль опухоли является одной из важнейших характеристик ее, как с точки зрения тактики и прогноза в онкологии, так и связи с эпилептизацией головного мозга.

Мутации в генах IDH1/2, TP53, метилирование гена MGMT часто обсуждаются как прогностические маркеры глиом. Наиболее описанной среди указанных мутаций с точки зрения участия ее в эпилептогенезе на настоящий момент является мутация в генах IDH1/2.

По данным Chen et al., у пациентов с IDH+ глиомами частота приступов до операции составляла 59–74 %, по сравнению с 18–34 % у пациентов с IDH– глиомами. IDH+ опухоли составляют 80 % LGG и имеют лучший прогноз, чем глиомы без этой мутации [3]. Это, в том числе, связано с преобладающими механизмами эпилептогенеза в IDH+ и IDH– глиомах. Замечено, что для глиом дикого типа (IDH–) характерны опухоль-специфические механизмы в то время, как для IDH+ глиом, превалирующим механизмом является метаболическая адаптация [1].

Первичной метаболической реакцией в клетках IDH– глиом является стабилизация индуцируемого гипоксией фактора 1 $\alpha$  (HIF-1 $\alpha$ ) — белка, изучаемого в агрессивных опухолях различной локализации — опухолях головы и шеи, шейки матки, яичников, желудка и др., как про-

гностический маркер устойчивости к лучевой и химиотерапии и ассоциирующийся с повышенной смертностью [1,3].

При нормальном метаболизме глюкоза поступает в нейроны главным образом через транспортеры глюкозы с облегченной диффузией (GLUTs) и преобразуется в пируват посредством ряда гликолитических стадий. Затем пируват преимущественно преобразуется в ацетил-КоА пируватдегидрогеназой, которая вступает в цикл трикарбоновых кислот для генерации переносчиков электронов NADH и FADH<sub>2</sub> для производства АТФ с помощью цепи переноса электронов посредством окислительного фосфорилирования [5]. Обычно в анаэробных условиях пируват также может быть преобразован в лактат с помощью фермента лактатдегидрогеназы (ЛДГ) с образованием NAD<sup>+</sup>, необходимого для поддержания гликолитической выработки АТФ. Однако в клетках глиомы стабилизация HIF-1 $\alpha$  приводит к преимущественному превращению пирувата в лактат даже в аэробных условиях [1,5].

Несмотря на противоречивость современной литературы, существенные данные свидетельствуют о том, что повышение уровня внеклеточного лактата может вызывать гипервозбуждение перитуморальных нейронов [1], за счет, с одной стороны, — повышенной активации вольтаж-зависимых натриевых каналов [1,6], с другой — за счет закрытия АТФ-чувствительных калиевых каналов, которые обычно действуют как энергетический датчик для защиты нейронов от чрезмерной деполяризации [1,7]. Хотя гликолиз становится основной частью метаболизма глюкозы в клетках глиомы, определенную роль в жизнедеятельности опухоли имеет глутаминолиз, поддерживающий некоторую активность цикла трикарбоновых кислот. При дезаминировании глутамин глутаминазой образуется глутамат, который затем подвергается ряду реакций для восполнения истощенных субстратов цикла трикарбоновых кислот путем образования  $\alpha$ -кетоглутарата ( $\alpha$ KG) — фермента, который необходим для функционирования пролилгидроксилазы, и NADPH, — важного кофактора поддержания нормального уровня антиоксиданта глутатиона GSH, и продолжения окислительного фосфорилирования [1].

По сравнению с нормальными астроцитами, клетки глиомы экспрессируют повышенный уровень глутаминазы и продуцируют большое количество глутамата. Глутамат также может быть синтезирован из разветвленных аминокислот (валина, лейцина и изолейцина). Общим результатом является избыток внеклеточного глутамата, который может привести к усилению пролиферации опухоли, повышенной возбудимости нейронов и судорогам [10,1].

В ряде последних работ было замечено, что в IDH+ глиомах ключевые моменты эпилептизации иные. В ней-

роонкологии мутация IDH1/2 на настоящий момент связывается с лучшей выживаемостью пациентов, ее наличие чаще характерно для глиом с более низким индексом пролиферативной активности.

Комплекс IDH обычно состоит либо из гомодимеризованного комплекса субъединиц IDH1 в цитоплазме, либо из субъединиц IDH2 в митохондриях. Как IDH1, так и IDH2 обратимо окисляют изоцитрат до  $\alpha$ KG и в процессе восстанавливают NADP<sup>+</sup> до NADPH. Гены IDH1 и IDH2 кодируют соответственно цитозольную и митохондриальную формы одноименных ферментов. Ферменты IDH1 и IDH2 катализируют превращение изоцитрата в  $\alpha$ KG. В норме изоцитратдегидрогеназа вовлечена в различные процессы, такие как модификация ДНК, деметилирование гистонов, адаптация к гипоксии. Наиболее часто встречающаяся мутация в гене IDH1 — точечная мутация R132, приводящая к замене аргинина на гистидин (R132H), реже происходят замены на цистеин (R132C), лейцин (R132L), серин (R132S) и глицин (R132G). В гене IDH2 выделяют две точечных мутации: R140 — замена аргинина на глутамин (R140Q) или, реже, на лейцин (R140L), триптофан (R140W) и глицин (R140G) и встречающуюся в 4 раза реже R172, для которой характерна замена аргинина на лизин (R172K) [8].

Мутировавшие формы ферментов IDH1 и IDH2 снижают сродство к связыванию изоцитрата, повышают сродство к NADPH и способствуют необратимой опухолевой реакции, которая окисляет NADPH, катализирует превращение  $\alpha$ KG в онкометаболит 2-гидрокси-глутарат (D2HG), который ингибирует большую группу  $\alpha$ -кетоглутаратзависимых ферментов ( $\alpha$ -кетоглутаратзависимые деметилазы лизина, гидроксилазы семейства TET), что приводит к гиперметилированию ДНК и метилированию гистонов. Нарушение эпигенетической регуляции, в свою очередь, вызывает подавление процесса дифференцировки клеток [1,9].

В своих работах китайская группа ученых, продемонстрировала выявленную закономерность снижения потребления глюкозы клетками IDH+ глиом, которое обусловлено подавлением экспрессии генов, связанных с гликолизом, таких как LDHA, CA9 и VEGFA. Этот эффект может быть обусловлен эпигенетическими изменениями, связанными с накоплением D2HG, или снижением стабилизации HIF1 $\alpha$  в условиях IDH1+, в отличие от повышенной стабилизации HIF1 $\alpha$ , наблюдаемой в клетках IDH- [8].

Считается, что ингибирование дифференцировки клеток с участием D2HG приводит к нарушению гидроксиглирования и деградации фактора HIF-1 $\alpha$ , что, в свою очередь, приводит к индукции HIF-1 $\alpha$ -таргетных генов, которые влияют на процессы ангиогенеза посредством взаимодействия с проангиогенными факторами, такими

как VEGF, а также процессы роста и дифференциации, апоптоза и аутофагии, посредством р53-зависимого или независимого путей (путь Bcl-2) [1].

Гипоксия может приводить к гибели нейрональных клеток и неоангиогенезу, те же механизмы были обнаружены и при эпилепсии [24].

Поскольку IDH1+ приводит к снижению  $\alpha$ KG для функции цикла трикарбоновых кислот (ЦТК) за счет выработки D2HG, эти клетки восстанавливают  $\alpha$ KG, либо непосредственно превращая глутамат в  $\alpha$ KG, либо косвенно используя глутамин для выработки  $\alpha$ KG, сначала расщепляя глутамин до глутамата. Конечным результатом этого процесса является то, что по сравнению с опухолями IDH- уровни глутамата в опухолях IDH+ существенно снижены [1,8]. Это говорит о том, что, в отличие от клеток IDH-, которые могут способствовать эпилептогенезу за счет избыточного высвобождения глутамата в перитуморальную среду, клетки IDH+, вероятно, практически не выделяют глутамат. Их эпилептогенез связан с выделением  $\alpha$ KG, который структурно напоминает глутамат и может непрочно связываться с глутаматными рецепторами (NMDA-рецепторы), создавая условия для поддержания эпилептогенного очага [1] посредством активации mTOR пути, которому отводят одну из ведущих позиций в эпилептогенезе, и который связывает роль опухоли и роль ее микроокружения — перитуморозной зоны (PTZ) — в развитии и сохранении приступов [10].

В норме протеинкиназа mTOR создает ядро основной эукариотической сигнальной сети, которая координирует рост клеток с условиями окружающей среды и играет фундаментальную роль в физиологии клеток и органелл, участвуя в синтезе белков, обмене глюкозы, инсулина и липидов, в метаболизме глутамин [10]. mTOR имеет множество механизмов регуляции: гуморальный, энергетическим статусом, цитокинами, сигнальными путями MAPK [11]. Было показано, что активация этого пути модулирует рост клеток, пролиферацию, синтез белка, морфологию нейронов, развитие коры головного мозга и иммунные реакции. Помимо этих классических функций mTOR, активация этого пути в ЦНС может влиять на передачу сигналов и возбудимость нейронов, такие как морфология аксонов и дендритов, экспрессия нейромедиаторов, синаптическая пластичность, а также на когнитивные способности и поведение [11].

В эпилептологии сигнальный путь mTOR играет ключевую роль в различных формах эпилепсии, включая комплекс туберозного склероза (TSC), синдром инфантильных спазмов, эпилептический статус, фокальную кортикальную дисплазию и даже эпилепсию, связанную с травмами. Предполагается, что гиперактивация mTOR сама по себе может способствовать предрасположенности к судорожным припадкам. Су-

ществует несколько различных вероятных путей, посредством которых D2HG может привести к изменениям в активации mTOR — за счет прямого ингибирования D2HG-зависимого ядерного белка-гистона KDM из-за потери липазной фосфатазы (PTEN), косвенно — за счет модуляции экспрессии вольтаж-зависимых ионных каналов и экспрессии нейромедиаторов или по другим причинам. Точный механизм, с помощью которого D2HG или аналогичные метаболиты усиливают передачу сигналов mTOR, требует дальнейшего изучения [10,11].

В онкологии глиальных опухолей на настоящий момент, важное значение, наряду с IDH1/2, отводят таким мутациям, как MGMT, BRAFv600E, EGFR, TERT, ARTX и др. Вместе с тем, невозможно полностью исключить их роль в развитии и поддержании ОАЭ.

Например, на экспериментальных моделях было показано, что мутация BRAFv600E способствует эпилептогенности, и ее ингибирование эффективно для контроля как судорог, так и роста опухоли [23]. По данным Prabowo A.S., имеется корреляция между изменениями BRAF и возрастом начала припадка или другими клиническими переменными, такими как продолжительность эпилепсии, возраст на момент операции, локализация опухоли и наличие сопутствующей ФКД [23]. Однако, в работе китайских ученых, например, были получены данные, согласно которым исход эпилептических припадков после операции не был связан с мутацией BRAF V600E [23,1]. Эти противоречивые данные свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших исследований в этом направлении.

### Обсуждение

Эпилепсия, связанная с супратенториальными опухолями головного мозга, встречается часто (40–60 %), особенно при глиомах низкой степени злокачественности, глионейрональных опухолях, лобно-височных и височных локализациях первичных и, реже, вторичных опухолей [14].

При ОАЭ судороги могут возникать либо как начальный симптом, который приводит к диагностике опухоли (наблюдается примерно у 30–50 % пациентов), либо во время течения заболевания, в том числе de novo после хирургического и/или любого из этапов другого онкологического лечения (наблюдается у 10–30 % пациентов) [14, 15].

В статье 2021 г Лебедевой А.В. и соавт. [12], проанализированы факторы риска развития эпилепсии, а также сохранения приступов с течением времени. Факторами риска развития эпилепсии у больных с опухолями головного мозга являются тип и гистологическая структура новообразований, их локализация, размер, общее количество. В качестве прогностических факторов называются

локализация и гистологическая структура опухоли, размер, проведенное хирургическое лечение и др [12].

В клинко-морфологической работе Карлова В.А. и соавт., проанализировали зависимость размеров опухоли от имеющейся картины заболевания, выделив 3 стадии эпилептогенеза: 1) доклиническая (размер опухоли 1–2 см) — частота появления приступов составляет 50 % (при этом основная группа, которая проявляет себя приступами на данной стадии — медленно растущие опухоли — LGG, менингиомы); 2) стадия клинической манифестации (размер опухоли 3–4 см) — частота появления приступов 33,3 % (при этом основная группа, которая проявляет себя приступами на данной стадии — быстрорастущие опухоли — HGG), превалируют общемозговые симптомы; 3) стадия декомпенсации — частота появления приступов 16,7 %, единичные, превалируют симптомы, связанные с ВЧГ, дислокационный синдром [12].

Изучение роли молекулярно-генетического профиля глиом нарастает по своей актуальности не только с онкологической, но и с эпилептологической точки зрения, как было показано на различии в вовлеченности в эпилептическую сеть IDH+ и IDH– глиом. Наряду с установленной ранее ассоциацией мутации IDH1 с лучшей выживаемостью пациентов [21], было выявлено, что у пациентов с супратенториальными диффузными глиомами мутации IDH1-R132H связаны с более тяжелым фенотипом послеоперационной эпилепсии. Эти данные поддерживают дальнейшие исследования мутаций IDH и потенциального противоэпилептического терапевтического эффекта их ингибиторов у пациентов с эпилепсией, ассоциированной с глиомами [17].

Согласно результатам одного из GWAS-анализов (genome-wide association study), полиморфный локус rs498872 гена PHLDB1, находящегося на хромосоме 11q23, ассоциирован с повышенным риском развития глиом низкой степени злокачественности с мутацией в гене IDH независимо от стадии, но не глиом IDH-дикого типа [21,1,22].

Генотипы IDH– и IDH+ по-разному влияют на метаболизм опухоли и, следовательно, имеют разные патологические механизмы, которые вызывают возбудимость популяций перитуморальных нейронов [1,22]. Одним из основных механизмов, с помощью которого опухоли повышают эпилептогенность, является метаболическое перепрограммирование в опухолевых клетках и в перитуморальной среде [1].

Изучение характеристик PTZ глиом различного потенциала злокачественности является крайне актуальным в связи с изучением эпилептизации головного мозга, преодоления развития калечащих частых приступов и, как следствие, улучшение качества жизни.

Кроме того, установлено, что наблюдаемое увеличение количества глутамата на границе раздела вещества головного мозга и опухоли, а также по краям инфильтрации, участвует как в стимулировании роста глиомы, так и в эпилептогенезе [2].

Глиомы разной степени злокачественности имеют различные прогностические характеристики с онкологической точки зрения.

Средняя общая выживаемость при диффузных глиомах (LGG), по данным разных авторов, колеблется от 6 до 8 лет. 5-летняя выживаемость без прогрессирования от 37 до 55 %. При этом, в 71,2 % случаев первыми симптомами заболевания являются судорожные приступы [18], которые могут сохраняться у пациента с течением времени, в том числе после онкологического лечения. В случае прогрессии опухоли при повторной хирургической резекции у 50 % пациентов выявляется повышение степени злокачественности опухоли. Среднее время злокачественной трансформации диффузных астроцитом низкой степени злокачественности до глиобластомы составляет 5,3 года [18].

При глиобластомах, несмотря на агрессивные стандарты лечения, прогноз остается неблагоприятным, и средняя продолжительность жизни после постановки диагноза составляет 8 месяцев [21]. При мультиформной глиобластоме эпилептические приступы встречаются в среднем в 25–50 % случаев (по данным крупных популяционных исследованиях — в 25 % случаев) до постановки диагноза и примерно у 20–30 % больных после диагностирования опухоли [21].

Таким образом, прогноз при HGG хуже, чем при LGG, но частота развития эпилепсии ниже, чем при глиомах низкой степени злокачественности, примерно на 40–64 % [19]. Более того, в статье Phan K. и соавт, опираясь на систематический обзор и мета-анализ данных, продемонстрировали, что статистически значимая связь мутаций IDH1 и IDH2 с частотой возникновения судорог до операции имелась у пациентов с глиомой низкой степени (II степень), но не у пациентов с глиомами более высокой степени (III и IV степени) [21]. Фармакорезистентная эпилепсия встречается примерно у 15 % пациентов с глиобластомой и примерно у 40 % пациентов с глиомой 2 степени тяжести. IDH-мутация не была в значительной степени связана с лекарственно-устойчивой эпилепсией [21,16].

Эпилепсия как основной симптом связана с более длительной выживаемостью при глиомах низкой и высокой степени злокачественности, особенно при мутации IDH1. Противоопухолевое лечение с помощью хирургического вмешательства, лучевой терапии или химиотерапии значительно улучшает контроль над приступами [16].

Исходя из вышеприведенных данных, крайне важным является изучение механизмов формирования и поддержания эпилептогенной сети при опухолях головного мозга, одним из звеньев которой является непосредственно опухоль с ее молекулярно-генетическими характеристиками. Это открывает пути для поиска оптимальных методик лечения опухоли-ассоциированной эпилепсии и, как следствие, улучшение качества жизни пациентов с данными патологиями.

## Выводы

Понимание общих механизмов, лежащих в основе двух сложных коморбидных заболеваний — опухоли и эпилепсии, позволяет использовать единые и более целенаправленные вмешательства с учетом всех аспектов заболеваний [12], адаптировать диагностические и терапевтические стратегии для лечения судорог у онкологических пациентов.

В ближайшие годы исследование образцов опухолей должно продолжать развиваться, чтобы расширить наше понимание в отношении влияния молекулярно-генетических характеристик опухоли не только в нейроонкологии, но и в эпилептологии, поскольку адекватный контроль над приступами значительно улучшает качество жизни пациентов.

Остается множество нетронутых вопросов в отношении ОАЭ, в частности, — не разработано рекомендаций по наблюдению и ведению пациентов с эпилептогенными опухолями, которые склонны к рецидиву и малигнизации, имеются ограниченные данные, характеризующие механизмы эпилептогенеза при менингиомах, метастатических поражениях и других неглиальных опухолях головного мозга. Существует ряд направлений изучения ОАЭ, которые на настоящий момент только формируются. Например, с достижениями в геномике опухолей головного мозга возрастает интерес к роли генетики в опухоли-ассоциированных судорогах. Многие изменения в связанных с опухолью генах и экспрессии микро-РНК связаны с судорогами, вызванными опухолью [24,16].

Пациенты с опухолями головного мозга и эпилепсией представляют собой очень сложную подгруппу пациентов, которая требует не только глубокого понимания современных принципов, касающихся эпилепсии, связанной с опухолями, но и развития совместных исследований для дальнейшего углубления наших знаний, а также согласованных усилий по разработке стандартизированного междисциплинарного клинического подхода для улучшения лечения за этими пациентами [16,20].

## ЛИТЕРАТУРА

1. McAfee D., Moyer M., Queen J., et al. Differential metabolic alterations in IDH1 mutant vs. wildtype glioma cells promote epileptogenesis through distinctive mechanisms. *Front Cell Neurosci.* 2023; 17: 1288918. Published online 2023 Nov 9. doi: 10.3389/fncel.2023.1288918
2. Avila Edward K., Tobochnik S., Inati Sara K., et al. Brain tumor-related epilepsy management: A Society for Neuro-oncology (SNO) consensus review on current management. *Neuro-Oncology* 2024; 26(1): 7–24. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noad154>
3. Chen H., Judkins J., Thomas C., et al. Mutant IDH1 and seizures in patients with glioma. *Neurology* 2017; 88: 1805–1813. doi:10.1212/WNL.0000000000003911
4. Strickland M., and Stoll E.A. Metabolic reprogramming in glioma. *Front. Cell Dev. Biol.* 2017; 5:43. doi: 10.3389/fcell.2017.00043
5. Yu L., Chen X., Wang L., and Chen S. The sweet trap in tumors: aerobic glycolysis and potential targets for therapy. *Oncotarget* 2016; 7: 38908–38926. doi: 10.18632/oncotarget.7676
6. Monteiro A.R., Hill R., Pilkington G.J., and Madureira P.A. The role of hypoxia in glioblastoma invasion. *Cells* 2017; 6:45. doi: 10.3390/cells6040045
7. Karagiannis A., Gallopin T., Lacroix A., et al. (2021). Lactate is an energy substrate for rodent cortical neurons and enhances their firing activity. *Elife* 10:10. doi: 10.7554/eLife.71424
8. Han S., Liu Y., Cai S.J., Qian M., Ding J., Larion M., et al. (2020). IDH mutation in glioma: molecular mechanisms and potential therapeutic targets. *Br. J. Cancer* 122, 1580–1589. doi: 10.1038/s41416-020-0814-x
9. Waitkus M.S., Diplas B.H., Yan H. Biological Role and Therapeutic Potential of IDH Mutations in Cancer. *Cancer Cell.* 2018;34(2):186–95. doi: 10.1016/j.ccell.2018.04.011.
10. Mortazavi A., Fayed I., Bachani M., Dowdy T., Jahanipour J., Khan A., et al. (2022). IDH-mutated gliomas promote epileptogenesis through d-2-hydroxyglutarate-dependent mTOR hyperactivation. *Neuro-Oncology* 24, 1423–1435. doi: 10.1093/neuonc/noac003
11. Crino P.B. The mTOR signalling cascade: paving new roads to cure neurological disease. *Nat Rev Neurol.* 2016;12(7):379–392
12. Лебедева А.В., Бурд С.Г., Власов П.Н., и др. Лечение эпилепсии, ассоциированной с первичными и метастатическими опухолями головного мозга. Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2021; 13(3): 286–304. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2021.099>
13. Rudà R., Bruno F., Pellerino A. Epilepsy in gliomas: recent insights into risk factors and molecular pathways. *Current Opinion in Neurology* 2023; 36(6): 557–563. DOI: 10.1097/WCO.0000000000001214
14. Chassoux F., Landre E. Prevention, and management of postoperative seizures in neuro-oncology *Neurochirurgie.* 2017 Jun;63(3):197-203. doi: 10.1016/j.neuchi.2016.10.013. Epub 2017 Jun 7.
15. Zhang X., Zheng L., Duan J., et al. Clinical characteristics of brain tumor-related epilepsy and factors influencing the identification of epilepsy-associated tumors. *Acta Epileptologica* (2020) 2:25 <https://doi.org/10.1186/s42494-020-00034-w>
16. Politsky J.M. Brain Tumor-Related Epilepsy: A Current Review of the Etiologic Basis and Diagnostic and Treatment Approaches. *Curr Neurol Neurosci Rep.* 2017 Sep;17(9): 70. doi: 10.1007/s11910-017-0777-3.
17. Neal A., Kwan P., O'Brien T.J., et al. IDH1 and IDH2 mutations in postoperative diffuse glioma-associated epilepsy. *Epilepsy and Behavior.* November 21, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2017.10.027>
18. Тушев А.А. Клинико-морфологические факторы прогноза диффузных глиом с низким индексом пролиферативной активности: дисс. канд. мед. наук: 3.1.6, 3.1.10. — НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина, Москва — 164 с.
19. Gao-Qiang M., Shu C., Han-Bin Y., et al. Efficacy of Personalized Postoperative Epilepsy Management in Patients with Glioblastoma Utilizing IDH1 Gene Assessment. *Neuropsychiatric Disease and Treatment* 2024;20 855–862
20. Duffau H. Oncological and functional neurosurgery: Perspectives for the decade regarding diffuse gliomas. *Revue Neurologique* Volume 179, Issue 5, June 2023, Pages 437–448 <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2023.01.724>
21. Association between IDH1 and IDH2 Mutations and Preoperative Seizures in Patients with Low-Grade Versus High-Grade Glioma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurg.* 2018 Mar; 111: 539–545. doi: 10.1016/j.wneu.2017.12.112.
22. Chen H, Judkins J, Thomas C. et al. Mutant IDH1 and seizures in patients with glioma. *Neurology* 2017; 88:1805–1813.
23. Xing H., Song Y., Zhang Z., Koch P.D. Clinical characteristics of BRAF V600E gene mutation in patients of epilepsy-associated brain tumor: a meta-analysis. *J Mol Neurosci* 2021; 71:1815–1824.
24. Easwaran T.P., Lancki N., Henriquez M. et al. Molecular classification of gliomas is associated with seizure control: a retrospective analysis. *Neuromol Med* 2021; 23:315–326.

© Щавинская Ася Валерьевна (asyashavinskaya@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПРЕДИКТОРЫ РАЗВИТИЯ ОПУХОЛЬ-АССОЦИИРОВАННОЙ СТРУКТУРНОЙ ЭПИЛЕПСИИ. ВКЛАД ПЕРИТУМОРОЗНОЙ ЗОНЫ (PTZ) В СОЗДАНИЕ ЭПИЛЕПТИЧЕСКОЙ СЕТИ

## PREDICTORS OF THE DEVELOPMENT OF TUMOR-ASSOCIATED STRUCTURAL EPILEPSY. CONTRIBUTION OF THE PERITUMORAL ZONE (PTZ) TO THE CREATION OF THE EPILEPTIC NETWORK

A. Shchavinskaya

*Summary.* On average, about 25–60% of patients with intracranial tumors may have structural epilepsy [12], while the frequency of its manifestation varies due to different histological types of tumors. Peritumoral zone, previously studied mainly in the context of searching for new therapeutic options for high-grade gliomas (HGG), plays an important role not only in a number of oncological aspects of the disease, but also in the creation and maintenance of an epileptic network. Recent observations obtained during intracranial electrocorticography (ECoG) in patients with gliomas have shown that the areas of onset of seizures are often located 1.5 cm outside the tumor (Mittal et al., 2016), convulsive activity comes from induced changes in these areas, not from the tumor itself, except of glioneuronal tumors, containing neuronal elements [10]. Understanding the effect of gliomas on the peritumoral environment will allow us to better understand the pathophysiology of the TAE and develop targeted therapeutic tactics.

*Keywords:* peritumoral zone (PTZ), epileptic network, tumor-associated epilepsy (TAE), gliomas, predictors of seizures.

**Щавинская Ася Валерьевна**

врач-нейрохирург, Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. Н.Н. Бурденко»  
asyashavinskaya@gmail.com

*Аннотация.* В среднем, около 25–60 % пациентов с интракраниальными опухолями могут иметь структурную эпилепсию [12], при этом частота ее проявления различна при различных гистологических типах опухолей. Перитуморозная зона, изучаемая ранее преимущественно в контексте поиска новых терапевтических опций при глиомах высокой степени злокачественности (HGG), играет роль не только в ряде онкологических аспектах заболевания, но и в создании и поддержании эпилептической сети. Недавние наблюдения, полученные в ходе внутричерепной электрокортикографии (ECoG) у пациентов с глиомами, показали, что зоны начала судорог часто располагаются на 1,5 см за пределами опухоли (Mittal et al., 2016), судорожная активность исходит за счет индуцированных изменений в этих областях, а не из самого новообразования, за исключением глионейрональных опухолей, содержащих нейрональные элементы [10]. Понимание влияния глиом на перитуморальную среду позволит нам лучше понять патофизиологию ОАЭ и разработать целенаправленную терапевтическую тактику.

*Ключевые слова:* перитуморальная зона (PTZ), эпилептическая сеть, опухоль-ассоциированная эпилепсия (ОАЭ), глиомы, предикторы приступов.

### Введение

Наряду с характеристикой самой опухоли, еще одним не менее значимым звеном эпилептогенеза при ОАЭ, является перитуморозная зона (PTZ) [12]. На настоящий момент, в попытке улучшить общую и безрецидивную выживаемость пациентов, определяя оптимальные лечебные опции, большинство исследований, посвященных PTZ, были проведены на глиомах высокой степени злокачественности (HGG). Появились новые важные идеи: об отличительном распределении иммунных клеток, включая иммуносупрессивные клетки, в пределах PTZ; о метаболических характеристиках опухолевой ткани и PTZ, о характере экспрессии генов и мутационном ландшафте PTZ, отличающемся от ядра глиомы и окружающей ткани головного мозга, а также о нижележащих состоянии синапсов глиом и их роль в прогрессировании опухоли головного мозга [12]. Со-

временные исследования, наблюдения за пациентами с опухоль-ассоциированной эпилепсией позволяет сделать вывод о том, что, в то время как структурные и молекулярные воздействия опухолей головного мозга важны, эпилептический феномен у людей остается сетевым заболеванием [13].

### Методы

В представленной статье проведен обзор литературных источников, найденных в системах PubMed и eLIBRARY, на тему частоты и факторов риска развития пре- и постоперационных приступов при различных опухолях головного мозга (глиомы, менингиомы, церебральные метастазы), описаны механизмы перитуморозной зоны в создании эпилептической сети.

Цель настоящей статьи — обобщить имеющиеся по данным литературы данные о факторах риска раз-

вития эпилептических приступов в пре- и постоперационных периодах, показать значимость вовлеченности перитуморозной зоны опухолей, преимущественно глиального происхождения, в создании и поддержании эпилептической сети, привести наиболее изученные в этом вопросе механизмы.

### Результаты

Наблюдая вариабельность течения эпилепсии как сопутствующего заболевания при опухолях головного мозга, видоизменения, происходящие с приступами на фоне лечения опухоли головного мозга, исследователи проблемы сходятся во мнениях, что развитие данных заболеваний во многом тесно переплетается между собой и с общими механизмами патогенеза. Учитывая тот факт, что тотальное удаление опухоли, хороший контроль над онкологической составляющей после комплексного или комбинированного лечения не гарантирует избавление от приступов, а зачастую провоцирует их аггравацию, становится очевиднее, что лечение этих патологий одновременно крайне непросто.

За последние годы было разработано несколько новых этиологических механизмов, объясняющих, как опухоли вызывают судороги, включая роль глутаматиндуцированной эксайтотоксичности, матриксных металлопротеиназ, изоцитратдегидрогеназы, метилгуанин-метилтрансферазы и функциональной сетевой взаимосвязанности. Кроме того, в некоторых работах было показано, что подходы к диагностике и лечению значительно различаются [14].

Среди всех типов опухолей эпилептические приступы наиболее часто наблюдаются при глионейрональных опухолях (70–80 %), особенно у пациентов с лобно-височными или островковыми поражениями. Структурная эпилепсия как сопутствующий диагноз при опухолях головного мозга также часто встречаются у лиц с глиомами, причем самые высокие показатели эпилепсии (60–75 %) наблюдаются у пациентов с глиомами низкой степени злокачественности, расположенными в поверхностных кортикальных или островковых областях. Примерно 20–50 % пациентов с менингиомой и 20–35 % пациентов с метастазами в головной мозг также страдают от ОАЭ. После удаления опухоли примерно у 60–90 % пациентов судороги проходят без последствий, при этом исходы наиболее благоприятны наблюдаются у лиц с глионейронными опухолями [3].

Рассмотрим предикторы развития пред- и послеоперационных приступов у пациентов с различными опухолями головного мозга по данным литературы.

Диагноз «менингиома» встречаются примерно в 30 % всех выявленных первичных опухолей ЦНС. При этом

приступы являются характерным симптомом проявления опухоли примерно в 30 % случаев, а в некоторых исследованиях этот процент колеблется в пределах 13–60 % [7]. Несмотря на то, что в 60–90 % случаев после хирургии менингиом наблюдается свобода от приступов, судороги могут сохраняться после хирургической резекции примерно у 12–19 % пациентов [7].

Выделяют такие факторы предоперационных приступов, как: локализация в примыкающем к неокортексу височной, теменной и лобной долей, конвексимальная или парасаггитальная локализация опухоли, перитуморозный отек более 1 см, размер опухоли более 3 см (3,5 см по данным другого исследования), инвазия в вещество головного мозга [7]. Имеются данные о большей встречаемости предоперационных приступов у мужчин, в то время как менингиомы статистически чаще встречаются у женщин. В работах Hess и соавт. (2018), Kawaguchi и соавт. (1996) как фактор риска выделена гистологическая характеристика опухоли — при менингиомах grade 2 и 3 приступы до операции встречались статистически чаще. В ретроспективном анализе 1033 пациентов Chen и соавт. (2017) как фактор риска выделен также более старший возраст. Отдельно выделен более низкий индекс по шкале Карновского [7].

В качестве изученных предикторов развития постоперационных приступов при менингиомах выделяют конвексимальную локализацию опухоли, размер более 3,5 см, большая степень злокачественности, степень поражения моторных зон и проводящих путей, более низкий индекс Карновского (<80). Кроме того, в большинстве исследований указываются такие факторы риска постоперационных приступов, как наличие приступов в анамнезе до операции, наличие осложнений хирургического лечения (гематома, ишемия, инфекция, гидроцефалия) [7]. В мета-анализе Lu и соавт. (2019) единственным фактором постоперационных приступов *de novo* были названы рецидив/прогрессия опухоли [8]. Поздний рецидив приступов при менингиомах часто связывают с рецидивом опухоли (Chow et al., 1995; Lieu and Howning, 2000; Chaichana et al., 2013).

По данным имеющихся работ, риск развития ОАЭ у пациентов с церебральными метастазами оценивается от 20–35 % до 67 % в течение всей истории заболевания [4, 5, 6].

В работе Wolpert F. и соавт. были проанализированы 799 случаев (557 из них прооперированы, 242 — без операции) ОАЭ у пациентов с церебральными метастазами. Выделены такие факторы риска развития предоперационных приступов, как одиночные метастазы (при этом, при множественном характере поражения, не выявлено зависимости повышения риска предоперационных приступов от увеличения количества метастазов), крово-

излияние в опухоль, супратенториальная локализация опухоли, расположение очага в лобной и теменной областях. Кроме того, в оцениваемой когорте пациентов, предоперационные судороги развивались статистически чаще у пациентов с впоследствии подтвержденным раком легких ( $P = 0,022$ ; ОР 2,0, 95 % ДИ: 1,1–3,6), что согласуется с данными других исследований. В ретроспективном анализе 470 пациентов с церебральными метастазами (Oberndorfer et al., 2002), у 24 % пациентов наблюдались приступы: в 16 % случаев первичная опухоль находилась в молочной железе, в 21 % — в ЖКТ, 29 % случаев — в легком, в 67 % случаев гистология соответствовала метастазу меланомы. Авторами было сделано предположение о том, что большая частота приступов при метастазах меланомы и рака легкого связана с их склонностью к внутричерепным кровоизлияниям [3].

Факторами риска развития послеоперационных приступов при церебральных метастазах названы также супратенториальная локализация очага, неполная резекция, множественные операции на головном мозге, венозные тромбозы, обнаружена связь возникновения послеоперационных приступов с облучением и химиотерапией [4].

В когортном исследовании Wu A. с соавторами в качестве факторов предоперационных судорог при метастатическом генезе ОАЭ были названы: расположение в височной или затылочной долях, при этом факторами, способствующими фармакорезистентности предоперационных приступов, стали локализация метастаза вне лобной доли, диаметр опухоли более 5 см [5]. Некоторая противоречивость в оценке локализации метастаза как фактора риска ОАЭ по данным литературы, остается, по-видимому, предметом будущих исследований.

При глиомах риск развития ОАЭ в значительной степени определяется степенью пролиферативной активности опухоли. Самые высокие показатели эпилепсии наблюдаются у пациентов с глиомами низкой степени (grade 1–2), в то время как у пациентов с глиомами высокой степени тяжести приступы чаще наблюдаются при анапластических астроцитомах (grade 3), чем при мультиформной глиобластоме (grade 4). При глиобластоме примерно у 40–45 % пациентов наблюдается эпилепсия, в то время как у 15–20 % из них приступы развиваются позже [3].

В некоторых исследованиях (Moots et al., 1995; Rosati et al., 2009), сообщалось о более низкой частоте судорог при глиобластомах *de novo*, чем при известных глиомах более низкой степени злокачественности. В работе Rossi et al. (2010), описали, что судороги могут предшествовать рентгенологическим признакам злокачественной трансформации опухоли.

Moots et al. (1995), установили, что эпилепсия чаще встречается у пациентов с мультифокальным заболеванием, чем у пациентов с одиночной опухолью [3].

Однако, с учетом гетерогенности глиальных опухолей в отношении развития приступов, до сих пор существует ограниченное количество всеобъемлющих исследований по выявлению предикторов развития приступов до и после оперативного вмешательства. В то же время, достоверно установлены факторы благоприятного исхода предоперационных приступов, как-то: большая степень резекции (Diggs, Still и соавторы установили, что контроль над приступами при диффузных супратенториальных глиомах достигается при объеме опухолевой резекции  $\geq 91$  % и/или при остаточном объеме опухоли  $\leq 19$  см<sup>3</sup> [3]), меньшая продолжительность эпилепсии и лучший контроль приступов с помощью противоэпилептических препаратов [3].

### Обсуждение

Опираясь на данные литературы, можно проследить некоторые схожие факторы риска развития ОАЭ при абсолютно различных опухолях головного мозга. Так, в большинстве своем, как при первичных опухолях (глиомах и менингиомах), так и при церебральных метастазах значение имеют такие макроскопические характеристики, как локализация опухоли, ее размер, распространенность, количество очагов. Заслуживает отдельного внимания роль повторных оперативных вмешательств, вклад химио- и лучевого лечения в развитие и/или течение структурной эпилепсии. Вместе с тем за последние годы появились работы, посвященные роли микроокружения опухолей — перитуморозной зоны (PTZ) — в развитии ОАЭ. Поскольку большинство работ затрагивают роль PTZ глиом в эпилептогенезе, описанные механизмы роли перитуморозного отека (PTE) при менингиомах по ряду ключевых механизмов схожи [7], роль PTZ в эпилептогенезе вторичных опухолей не изучена, рассмотрим вопрос в отношении глиальных опухолей.

Перитуморозная зона — область промежуточной, макроскопически не измененной ткани, прилежащей к видимым границам опухоли. При глиомах, с учетом их морфологических характеристик PTZ может содержать изолированные опухолевые клетки [10].

В работе Daumas-Duport и соавт. (1987), выделены 3 типа пространственной структуры глиомы, определяемой характером ее роста: солидная опухоль без изолированных периферических опухолевых клеток (ИТК), опухолевая ткань с периферическими опухолевыми клетками и опухолевые клетки в пределах интактной паренхимы головного мозга (то есть отсутствие солидной опухоли) [10]. При анализе динамики роста опухолевых клеток по данным гистологии было обнаружено, что оли-

годендроглиальные опухоли с потерей 1p19q, как правило, представляют собой более ограниченные очаги с преимущественной пролиферацией *in situ*, в отличие от более диффузных, инфильтративных и менее объемных астроцитарных опухолей [10]. Недавние наблюдения, полученные в ходе внутрочерепной электрокортикографии (ECoG) у пациентов с глиомами, показали, что зоны начала судорог часто располагаются на 1,5 см за пределами опухоли (Mittal et al., 2016) [10]. Повышенную возбудимость перитуморальных нейронов при глиомах объясняется на настоящий момент большим количеством факторов, таких как масс-эффект, нарушение ионного гомеостаза, разрушение гематоэнцефалического барьера, нейровоспаление, генетические мутации и метаболические изменения [9].

Одну из основных ролей в ОАЭ отводят глутамату. Было показано, что снижение поглощения глутамата и увеличение его высвобождения клетками глиомы и соседними неопухолевыми астроцитами и активированной микроглией приводят к чрезмерной глутаматергической возбуждающей нейротрансмиссии и к более высокому риску судорог [10].

Кроме того, было высказано предположение, что сами опухолевые клетки нейротоксичны (за счет высвобождения цитокинов и нейромедиаторов) и может вызывать судороги из-за нарушения нейрональных проводящих путей или из-за локальных изменений концентрации глутамата/метаболизма [10].

Помимо того, что сам глутамат является непосредственным участником процесса эпилептогенеза при опухолях головного мозга, выявлено, что важную роль также играет повышенная экспрессия цистин-глутаматного переносчика (система xCT, SLC7A11), приводящая к повышению внеклеточного уровня глутамата [15]. В нервной системе SLC7A11 стимулирует внесинаптические рецепторы и осуществляя невезикулярное высвобождение глутамата. Этот ген высоко экспрессируется астроцитами и связывает поглощение одной молекулы цистина с высвобождением одной молекулы глутамата. Экспрессия xCT была обнаружена во всем мозге, причем более высокая экспрессия была обнаружена в миндалине, префронтальной коре и сетчатке [15]. В 2008 г. Savaskan N.E. и соавт. было показано, что система белков xCT, сверх экспрессируемая в глиомах и, помимо вовлечения в эпилептогенез, участвует в нарушении гематоэнцефалического барьера; у животных, которым имплантировали систему типа xCT с подавленной активной субъединицей, перитуморальный отек был значительно меньше по сравнению с животными с нормальной системой xCT [16]. Экспрессия xCT является независимым биомаркером эпилептических приступов при постановке диагноза: риск судорожных приступов почти в 5 раз выше у пациентов с высокой экспрессией xCT [17].

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что IDH- и IDH+ опухоли по-разному влияют на метаболизм опухоли и, следовательно, имеют разные патологические механизмы, которые вызывают возбудимость популяций перитуморальных нейронов [18]. Опухоли IDH- усиливают регуляцию гликолиза и впоследствии выделяют избыточное количество глутамата и лактата в PTZ, которые могут вызывать повышенную возбудимость окружающих нейронов. В дополнение к механизмам IDH-, опухоли IDH+, с другой стороны, также зависят от окислительного фосфорилирования, обусловленного метаболизмом глутамина/глутамата, что способствует замедлению роста опухолей IDH+ и высвобождению опухолевого D2HG. Высвобождение D2HG способствует перитуморальному перевозбуждению за счет стимуляции глутаматных рецепторов и индукции гликолиза в перитуморальных нейронах, что вызывает гиперактивацию за счет выработки лактата, аналогичную той, которая наблюдается в опухолях IDH-. Избыток глутамата способствует клеточной инвазии глиомы и эксайтотоксичности через активацию NMDA-рецептора и Ca(2+)-проницаемого AMPA-рецептора. Патологическая глутаматергическая передача сигналов способствует развитию гипервозбудимости в микроокружении глиомы. Это, в свою очередь, ведет к нарушению гомеостаза хлоридов — снижается активность K-Cl-симтранспортера 2-го типа (KCC2), который элиминирует Cl из нейронов и повышает активность Na-K-Cl-котранспортера (NKCC1), возвращающего Cl в нейроны. Это увеличение нейрональных Cl-транспортеров, приводит к нарушению гомеостаза хлоридов, что, в свою очередь, переключает в норме тормозную ГАМК-нейротрансмиссию пирамидных нейронов с гиперполяризующей на деполаризующую и, следовательно, снижает порог возникновения судорог [18,19].

В исследовании Labrakakis C.И др. авторы продемонстрировали, что применение ГАМК вызывало активацию Ca<sup>++</sup>-каналов, зависящих от напряжения, и, следовательно, предположили, что наблюдаемая деполаризация была связана с поступлением Ca<sup>++</sup> в клетки. Они также показали, что эти функциональные ГАМК-рецепторы не были обнаружены в клетках HGG, что согласуется с известной повышенной эпилептогенностью LGG по сравнению с HGG [20]. Контроль внеклеточного ионного гомеостаза также имеет решающее значение в возникновении судорог. Центральное место в этом играет способность регулировать концентрацию внеклеточного калия K<sup>+</sup>. Внеклеточный гомеостаз K<sup>+</sup> поддерживается астроцитами путем перемещения по каналу Kir4.1, кодируемого геном KCNJ10. Установлено, что способность глиом к калиевому обмену нарушается из-за снижения экспрессии Kir4.1 в плазматической мембране клеток глиомы. Однако в настоящее время нет прямых доказательств, подтверждающих изменения Kir4.1 в PTZ, и того, могут ли какие-либо измене-

ния непосредственно способствовать эпилептогенезу в этих зонах. [20].

Еще один механизм повышения эпилептогенности связывают с изменениями рН в PTZ. С помощью МР-спектроскопии было показано, что глиомы имеют очень кислый внеклеточный рН, в то время как, наоборот, их внутриклеточный рН является щелочным [21]. Одной из гипотез, объясняющих механизм, лежащий в основе высококислотного внеклеточного матрикса, обнаруживаемого в глиомах, может быть локализованная гипоксия. Другая гипотеза, связывающая рН с эпилептогенезом, предполагает повышенную экспрессию карбоангидразы (CA) IX – фермента, катализирующего реакцию  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  с образованием  $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+$  в глиомах. Эта реакция также усиливается при гипоксии [20,21].

На настоящий момент ведутся исследования, в том числе по изучению связи опухолевых клеток с клетками иммунной системы. Недавнее исследование показало, что высокие показатели гликолиза, присущие опухолевой ткани, ограничивают доступность глюкозы для лимфоцитов, которым требуется достаточное количество глюкозы для осуществления своей функции — уничтожения опухолевых клеток. В совокупности этот факт свидетельствует о том, что опухолевые клетки могут связываться с клетками иммунной системы для поддержки противоопухолевого иммунитета [22].

Важнейшей характеристикой, создающей и поддерживающей эпилептогенную сеть в глиомах, является характеристика синапсов нейронов PTZ. Щелевые соединения являются средством межклеточной коммуникации и состоят из мембранных белков (коннексинов), которые образуют канал от мембраны одной клетки к мембране соседней клетки. Было продемонстрировано, что в неокортексе человека, страдающего эпилепсией, сеть аксонов пирамидных клеток, связанных со щелевыми соединениями, лежит в основе генерации высокочастотных колебаний. Высокочастотные колебания вовлечены в эпилептогенный процесс и становятся полезным клиническим инструментом с точки зрения определения очага приступа. Cunningham et al. показали повышение уровня мРНК, кодирующей белок щелевого соединения Sx43, как у пациентов с трудноизлечимой эпилепсией, так и у пациентов с опухолью, сопровождающейся судорогами, и снижение уровня этого же белка у пациентов с опухолью, не сопровождающейся судорогами [23]. Кроме того, было установлено, что перитумо-

ральные нейроны могут образовывать синапсы непосредственно с клетками глиомы, при этом синаптогенез глиальных клеток обусловлен высвобождением нейронального белка нейролигина-3 (NLGN-3) [24].

Особое значение в развитии и поддержании ОАЭ отводят экскретируемым во внеклеточное пространство ферментам — матриксным металлопротеиназам (ММП). ММП являются основными исполнителями процессов ремоделирования внеклеточного матрикса во всем организме и выполняют сложные функции в норме и при патологии. Они участвуют в эпилептогенезе, прогрессировании эпилепсии и ремоделировании мозга после судорог, обуславливают вызванную судорогами гибель клеток, разрушение ГЭБ, нейровоспаление и aberrantную синаптическую пластичность [25]. В контексте нейроонкологии, стоит учитывать, что доказана роль ММП в генерализации процессов инвазии и метастазирования опухолей [26].

## Выводы

Хотя на настоящий момент опухолевая циторедукцией является одним из важнейших общепризнанных аспектов контроля над приступами на любом этапе лечения, до конца остается неясным, что именно вносит ключевой вклад в течение ОАЭ — непосредственно опухоль или изменения прилежащей мозговой ткани.

Продолжающиеся судороги после полной резекции опухоли указывают либо на остаточные патологические изменения в перитуморальной коре, которые требуют лечения после резекции, либо на необходимость усовершенствования методов локализации опухоли. Несмотря на понимание роли метаболического перепрограммирования в предрасположенности к судорогам при ОАЭ, биомаркеры и методы лечения, специфичные для метаболизма, остаются не разработанными.

Недостаточная изученность механизмов возникновения приступов на разных этапах течения заболевания у пациентов с разной гистологической природой опухолей головного мозга, установление роли перитуморозной зоны опухолей в появлении, сохранении, аггравации приступов, требует дальнейшего изучения и предполагает проведение мультицентровых исследований для значимых продвижений в вопросах диагностики и лечения ОАЭ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Pim B. van der Meera, Martin J.B. Taphoorna, et al. Management of epilepsy in brain tumor patients. *Curr Opin Oncol* 2022, 34:685–690 DOI:10.1097/CCO.0000000000000876
2. Becha K.T., Seyedia J.F., Schulza M. et al. The risk of developing seizures before and after primary brain surgery of low- and high-grade gliomas. *Clinical Neurology and Neurosurgery* 2018; 169: 185–191 <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2018.04.024>
3. Englot D.J., Chang E.F., Vecht C.J. Epilepsy and brain tumors. *Handb Clin Neurol*. 2016; 134: 267–285. doi: 10.1016/B978-0-12-802997-8.00016-5
4. Wolpert F., Lareida A., Terziev R. et al. Risk factors for the development of epilepsy in patients with brain metastases. *Neuro-oncology* 2020; 22:718–728
5. Wu A., Weingart J.D., Gallia G.L. et al. Risk factors for preoperative seizures and loss of seizure control in patients undergoing surgery for metastatic brain tumors. *World Neurosurg.* 2017; 104:120–128. [PubMed] [Google Scholar]
6. Skardelly M., Brendle E., Noell S. et al. Predictors of preoperative and early postoperative seizures in patients with intra-axial primary and metastatic brain tumors: A retrospective observational single center study. *Ann Neurol.* 2015;78(6):917–928. [PubMed] [Google Scholar]
7. Elbadry Ahmed R., Tang H., Asemota A. et al. Meningioma Related Epilepsy Pathophysiology, Pre/postoperative Seizures Predicators and Treatment. *Front. Oncol.* 2022; 12:905976. doi: 10.3389/fonc.2022.905976
8. Lu V.M, Wahood W., Akinduro O.O. et al. Four Independent Predictors of Postoperative Seizures After Meningioma Surgery: A Meta-Analysis. *World Neurosurg* (2019) 130:537–45 e3. doi: 10.1016/j.wneu.2019.06.063
9. McAfee D., Moyer M., Queen J. et al. Differential metabolic alterations in IDH1 mutant vs. wildtype glioma cells promote epileptogenesis through distinctive mechanisms. *Front Cell Neurosci.* 2023; 17: 1288918. Published online 2023 Nov 9. doi: 10.3389/fncel.2023.1288918
10. Silva M., Vivancos C., Duffau H. The Concept of «Peritumoral Zone» in Diffuse Low-Grade Gliomas: Oncological and Functional Implications for a Connectome-Guided Therapeutic Attitude. *Brain Sci.* 2022, 12, 504. <https://doi.org/10.3390/brainsci12040504>
11. Duffau H. Oncological and functional neurosurgery: Perspectives for the decade regarding diffuse gliomas. *Revue Neurologique* Volume 179, Issue 5, June 2023, Pages 437–448 <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2023.01.724>
12. Zhang X., Zheng L., Duan J. et al. Clinical characteristics of brain tumor-related epilepsy and factors influencing the identification of epilepsy-associated tumors. *Acta Epileptologica* (2020) 2:25 <https://doi.org/10.1186/s42494-020-00034-w>
13. Василенко А.В., Улитин А.Ю., Аблаев Н.Р. и др. Эпилепсия у больных с глиомами: механизмы, лечение и влияние противосудорожной терапии. *Российский журнал персонализированной медицины.* 2023;3(3):38–47. DOI: 10.18705/2782-3806-2023-3-3-38-47
14. Politsky J.M. Brain Tumor-Related Epilepsy: A Current Review of the Etiologic Basis and Diagnostic and Treatment Approaches. *Curr Neurol Neurosci Rep.* 2017 Sep;17(9): 70. doi: 10.1007/s11910-017-0777-3.
15. Bridges R., Lutgen V., Lobner D., Baker D.A. Thinking outside the cleft to understand synaptic activity: contribution of the cystine–glutamate antiporter (System xc<sup>-</sup>) to normal and pathological glutamatergic signaling. *Pharmacological Reviews.* 2012; 64 (3): 780–802. doi:10.1124/pr.110.003889.
16. Savaskan N.E., Heckel A., Hahnen E., Engelhorn T., Doerfler A., Ganslandt O. Small interfering RNA-mediated xCT silencing in gliomas inhibits neurodegeneration and alleviates brain edema. *Nat Med.* 2008;14(6):629–632.
17. Лебедева А.В., Бурд С.Г., Власов П.Н., и др. Лечение эпилепсии, ассоциированной с первичными и метастатическими опухолями головного мозга. Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2021; 13(3): 286–304. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2021.099>
18. McAfee D., Moyer M., Queen J. et al. Differential metabolic alterations in IDH1 mutant vs. wildtype glioma cells promote epileptogenesis through distinctive mechanisms. *Front Cell Neurosci.* 2023; 17: 1288918. Published online 2023 Nov 9. doi: 10.3389/fncel.2023.1288918
19. Cowie C.J.A., Cunningham M.O. Peritumoral epilepsy: Relating form and function for surgical success *Epilepsy Behav.* 2014 Sep; 38: 53–61. doi: 10.1016/j.yebeh.2014.05.009; 10.1016/j.yebeh.2014.05.009
20. Labrakakis C., Patt S., Hartmann J., Kettenmann H. Functional GABA(A) receptors on human glioma cells. *Eur J NeuroSci.* 1998;10(1):231–238.
21. Martinez G.V., Zhang X., Garcia-Martin M.L. et al. Imaging the extracellular pH of tumors by MRI after injection of a single cocktail of T1 and T2 contrast agents. *NMR Biomed.* 2011;24(10):1380–1391.
22. Liberti M.V., Locasale J.W. The Warburg Effect: How Does it Benefit Cancer Cells? *OPINION | SPECIAL ISSUE: MITOCHONDRIA & METABOLISM* 2016 41 (3): 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.tibs.2015.12.001>
23. Cunningham M.O., Roopun A., Schofield I.S., Whittaker R.G., Duncan R., Russell A. Glissandi: transient fast electrocorticographic oscillations of steadily increasing frequency, explained by temporally increasing gap junction conductance. *Epilepsia.* 2012;53(7):1205–1214.
24. Venkatesh H.S., Tam L.T., Woo P.J. et al. Targeting neuronal activity-regulated neuroigin-3 dependency in high-grade glioma. *Nature.* 2017; 549(7673):533–537.
25. Salih K.S., Hamdan F.B., Al-Mayah Q.S. Diagnostic value of matrix metalloproteinase-2 and high mobility group box 1 in patients with refractory epilepsy. *The Egyptian Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery* 2020; 102 (56).
26. Рогова Л.Н., Шестернина Н.В., Замечник Т.В., Фастова И.А. Матриксные металлопротеиназы, их роль в физиологических и патологических процессах (обзор) // *Вестн. новых мед. технол.* — 2011. — Т. XVIII. — № 2. — С. 86–89.

© Щавинская Ася Валерьевна (asyashavinskaya@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## Наши авторы

**Abdurakhimova M.** — Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

**Aksenov S.** — doctor of Economics, Professor, Ufa State University of Science and Technology

**Al Hakim Rida** — graduate student, Peoples' Friendship University of Russia,

**Balter R.** — MD, Professor, Head of the Department, Samara State Medical University

**Bobunov A.** — Moscow University for Industry and Finance «Synergy»

**Bugaev A.** — senior lecturer, MIREA Russian Technological University

**Bukhtueva I.** — M.V. Lomonosov Moscow State University

**Bushueva D.** — Order of the Red Banner of Labor S.I. Georgievsky Medical Institute

**Chernukhina O.** — graduate student, Astrakhan State Technical University

**Chudakova S.** — Researcher at the Laboratory, «EFA» Ecological and Biological Center «Krestovsky Island»

**Eliseeva D.** — Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

**Figurov M.** — graduate student, I. Kant Baltic Federal University

**Galimova E.** — infectious disease specialist, GBUZ «Regional Clinical Hospital No. 2», Vladivostok

**Goncharov K.** — postgraduate student, Financial University under the Government of Russian Federation

**Goncharova Ju.** — Pacific State Medical University

**Gorelik S.** — senior lecturer, MIREA Russian Technological University

**Grudanov N.** — graduate student, National Research Nuclear University «MEPhI»

**Gulyaev I.** — Volgograd State Technical University

**Ibragimova A.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Samara State Medical University

## Our authors

**Ismatullin D.** — Candidate of Medical Sciences, Head of the Laboratory, Samara State Medical University

**Ivanova T.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Samara State Medical University

**Kalinin V.** — Supplementary education teacher, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow

**Kalyuzhnaya N.** — Head of the department, medical center «Dynasty» Samara

**Kesya M.** — Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara

**Khairov M.** — Supplementary education teacher, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba Moscow

**Koltsov V.** — Doctor of Chemical Sciences, Professor, Federal State Educational Institution of Higher Education «National Research University «Research Institute of MIET», Russia, Moscow, Zelenograd

**Kondratieva O.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev; Associate Professor, Moscow Technological University of Communications, and Informatics

**Korotkova A.** — Bachelor's degree, Financial University under the Government of the Russian Federation Moscow

**Kovalenko G.** — infectious disease specialist, GBUZ «Regional Clinical Hospital No. 2», Vladivostok

**Kovaleva E.** — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Peoples' Friendship University of Russia

**Kozhemyakin S.** — lecturer, MIREA Russian Technological University

**Kritskova E.** — Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara

**Kudlaeva Ju.** — infectious disease specialist, GBUZ «Regional Clinical Hospital No. 2», Vladivostok

**Kurlyak D.** — Volgograd State Technical University

**Lavrenyuk V.** — Assistant, Pacific State Medical University; head, infectious disease specialist, GBUZ «Regional Clinical Hospital No. 2»; pulmonologist, CHUZ «Clinical Hospital «RZD-Medicine» Vladivostok

**Lazarev P.** — undergraduate student, Ufa State University of Science and Technology

**Lyashenko E.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Order of the Red Banner of Labor S.I. Georgievsky Medical Institute

**Makarov D.** — Post-graduate student, MSLU, Moscow

**Malakhov S.** — Candidate of Technical Sciences, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

**Melkumian G.** — dentist-surgeon, implantologist, orthopedist, chief physician, Novadent clinic, Moscow; leading specialist, Wellmed clinic, Yerevan

**Mirovich E.** — Candidate of Medical Sciences, assistant, Donetsk State Medical University named after M. Gorky

**Mishchuk B.** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, I. Kant Baltic Federal University

**Mozharovsky E.** — M.V. Lomonosov Moscow State University

**Mukhin I.** — Specialist, Senior Lecturer, Federal State Educational Institution of Higher Education, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

**Mukhin I.** — Specialist, Senior Lecturer, RUDN University, Moscow

**Mukosiy L.** — Order of the Red Banner of Labor S.I. Georgievsky Medical Institute

**Nazarova D.** — Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

**Nikolaev K.** — Assistant, National Research University of Electronic Technology

**Nikolaeva A.** — St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I, Russian Federation

**Novikova D.** — Senior teacher of supplementary education, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba Moscow

**Otradnov K.** — senior teacher, MIREA — Russian Technological University, Moscow

**Pechenov I.** — Volgograd State Technical University

**Petrov A.** — Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Science and Technology MISiS, Moscow

**Petrov V.** — PhD., Associate Professor, teacher, Moscow State Technological University «STANKIN»

**Pilipchuk E.** — Graduate student, Moscow State Technological University «STANKIN»

**Popov A.** — Candidate of Military Sciences, Professor, Professor, National Research University of Electronic Technology

**Poshev A.** — Postgraduate student, Department of Computer-Aided Design and Design, National University of Science and Technology MISiS, Moscow

**Prisyazhnyy A.** — Chelyabinsk State University, Senior Software Engineer; Tacit Knowledge Latin America LLC

**Rubin I.** — University ITMO, St. Petersburg

**Sabirova D.** — Laboratory assistant, MIREA — Russian Technological University Moscow

**Selin A.** — docent, MIREA Russian Technological University

**Shabanova I.** — Volgograd State Technical University

**Shalaginova O.** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia

**Sharara Simbarashe** — Moscow State University of Technology «STANKIN»

**Shchavinskaya A.** — neurosurgeon, Federal State Autonomous Institution «National Medical Research Center named after N.N. Burdenko»

**Shevchuk A.** — Candidate of Medical Sciences, obstetrician-gynecologist, medical center «Dynasty» Samara

**Shikula O.** — senior teacher, National Research University of Electronic Technology

**Shrank A.** — Ph.D student, Faculty of Software Engineering and Computer Engineering of ITMO University, St. Petersburg

**Soprunova O.** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Astrakhan State Technical University

**Stakhno R.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia

**Strashnov S.** — Associate Professor, PhD of Technical Sciences, Head of Department Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow

**Streltsova E.** — pediatric dentist, KSAUZ «Norilsk City Dental Clinic»

**Sultan Nebras** — PhD student, Moscow State Technological University «STANKIN»

**Tarasov V.** — graduate student, Moscow State University of Information Technologies, Radio Engineering and Electronics (MIREA)

**Tikhonov M.** — Cand.Sc.(Technology), associated professor, National Research University of Electronic Technology

**Trufanov A.** — Senior Researcher, Candidate of Physico-mathematical Sciences, National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Tsaregorodtsev A.** — Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Director, RUDN University, Moscow

**Tyumina O.** — Doctor of Medical Sciences, Chief Physician, medical center «Dynasty», Samara

**Vanin E.** — Dentist, Limited liability company «VELAR»

**Viduto A.** — Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

**Volkov S.** — Deputy Director, Federal State Budgetary Educational Institution of the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

**Yagolnitzer O.** — Candidate of Technological Sciences, Associate Professor, Moscow State Technological University «STANKIN»

**Yakovishin A.** — Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky

**Yakupov D.** — Postgraduate, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

**Zabrodin A.** — Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I

**Zelenkov D.** — Postgraduate, National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Zolotukhina M.** — Postgraduate student, MIREA — Russian Technological University

**Zubkov A.** — Candidate of Technical Sciences, Head of the Information Development Department, Lecturer, Volgograd State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation; Senior Lecturer, Volgograd State Technical University

**Zuev D.** — Graduate student, Penza State Technological University

## Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

**За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.**

Редакционная коллегия оста вляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

### Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Литература составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- ◆ Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

### Правила написания математических формул.

- ◆ В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- ◆ Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- ◆ Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

### Правила оформления графики.

- ◆ Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- ◆ Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные — 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» ( e-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru) ).